

Departement für Nutztiere, Abteilung Ambulanz und Bestandesmedizin
der Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich

Direktor: Prof. Dr. Dr. h. c. Ueli Braun

**Eine interaktive Karte zur Ermittlung der potentiellen Verbreitung von
Galba truncatula und der freilebenden Larvenstadien von *Fasciola
hepatica* in der Schweiz: Validierung im Feld**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von

Rhea Baggenstos

Tierärztin
von Gersau, Schwyz

genehmigt auf Antrag von

Prof. Dr. Gabriela Knubben-Schweizer, Referentin

Prof. Dr. Paul R. Torgerson, Korreferent

Zürich, 2012

Departement für Nutztiere, Abteilung Ambulanz und Bestandesmedizin
der Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich

Direktor: Prof. Dr. Dr. h. c. Ueli Braun

**Eine interaktive Karte zur Ermittlung der potentiellen Verbreitung von
Galba truncatula und der freilebenden Larvenstadien von *Fasciola
hepatica* in der Schweiz: Validierung im Feld**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von

Rhea Baggenstos

Tierärztin
von Gersau, Schwyz

genehmigt auf Antrag von

Prof. Dr. Gabriela Knubben-Schweizer, Referentin

Prof. Dr. Paul R. Torgerson, Korreferent

Zürich, 2012

Meinen lieben Eltern

LEBENS LAUF

Name, Vorname	Rhea Baggenstos
Geburtsdatum	30. Dezember 1981
Geburtsort	Luzern
Nationalität	Schweizerin
Heimatort	Gersau, Schwyz
1988 – 1994	Primarschule in Merlischachen, Schweiz
1994 – 1997	Sekundarschule in Küsnacht am Rigi, Schweiz
1997 – 2001	Kantonsschule Kollegium Schwyz, Schwyz, Schweiz
2001	Matura Typus E, Kantonsschule Kollegium Schwyz
2001 – 2002	Zwischenjahr mit Sprachaufenthalt in Sevilla, Spanien
2002 – 2007	Studium der Veterinärmedizin, Vetsuisse-Fakultät, Universität Bern, Schweiz
14.09.2007	Staatsexamen an der Vetsuisse-Fakultät, Universität Bern, Schweiz
1.12.2007 – 31.8.2009	Assistentin in der Gemischt tierpraxis Foribach (Dres. med. vet. B. Dubacher und M. Grisiger), Sarnen, Schweiz
seit 1.9. 2009	Assistentin und Doktorandin am Departement für Nutztiere, Abteilung Ambulanz und Bestandesmedizin, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich, Schweiz
Sept. 2009 – Dez. 2012	Anfertigung der Dissertation unter Leitung von Prof. Dr. G. Knubben-Schweizer am Departement für Nutztiere Direktor: Prof. Dr. Dr. h.c. U. Braun Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, ganz herzlich bedanken, insbesondere

Frau Prof. Gabi Knubben-Schweizer für die Überlassung des Themas, die Übernahme des Referats und die hervorragende Betreuung und grossartige Unterstützung.

Herrn Prof. Paul Torgerson für die Übernahme des Korreferats.

Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. Ueli Braun für die Anstellung an der Klinik und die Möglichkeit zur Erstellung einer Dissertation.

Herrn Dr. Tobias Dahinden für das Spezialprogramm sowie seine grosse Unterstützung beim Auswerten.

Herrn Dr. Simon Capt vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF) für das zur Verfügung stellen der Daten und den Beobachterinnen und Beobachter, welche die Fundorte von *G. truncatula* festgehalten haben.

Herrn Dr. Hansrudolf Bär für die Hilfe mit den Landkarten.

Herrn Dr. Sasa Stafanic für die Unterstützung beim Bestimmen der Schnecken.

Meiner Kollegin Dr. Bea Wenzinger für die Antworten auf die vielen Fragen und all die Tipps und Tricks.

Meiner Mutter Marianne Baggenstos und meinem Kollegen Dr. Thomas Häring für die grossartige Unterstützung bei der Feldarbeit.

Meinem Cousin Marc Baggenstos für seine Hilfe beim Gestalten der abgabefertigen Version.

Meiner Patentante Ilona Räber für das Korrekturlesen des Manuskriptes.

INHALTSVERZEICHNIS

1. ZUSAMMENFASSUNG	1
2. SUMMARY	3
3. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	5
4. LITERATURÜBERSICHT	6
4.1 Vorkommen der Fasciolose	6
4.2 Entwicklungszyklus von <i>Fasciola hepatica</i>	6
4.3 Der Zwischenwirt <i>Galba truncatula</i> (Zwergschlammschnecke)	6
4.3.1 Lebensraum	8
4.3.2 Ortswechsel und Wanderschaft	9
4.4 Epidemiologie	9
4.5 Prophylaxemassnahmen	9
4.6 Geographische Informationssysteme	9
4.7 Risikomodelle für die Fasciolose	10
4.8 Validationen der Modelle	14
4.9 Bedeutung der bovinen Fasciolose in der Schweiz	14
4.10 Interaktive Karte von RAPSCH et al. (2008)	14
5. MATERIAL UND METHODIK	16
5.1 Felduntersuchung 2010	16
5.1.1 Auswahl der Felder	16
5.1.2 Anzahl und Beschreibung der Felder	16
5.1.3 Begehung der Felder	17
5.1.4 Aufbereitung und Untersuchung der gesammelten Schnecken	17
5.2 <i>G. truncatula</i>-Funde aus anderen Quellen	17
5.2.1 Daten von SCHWEIZER et al. (2007)	17
5.2.2 Daten vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune	18
5.3 Übersicht der verwendeten Daten	19

5.4	Auswertung der Daten	20
5.5	Auswertungsmethoden und Statistik	21
5.6	Zusammenarbeit mit anderen Institutionen	22
6.	ERGEBNISSE	23
6.1	Daten der Felduntersuchung 2010	23
6.1.1	Untersuchte Felder	23
6.1.2	Anzahl <i>G. truncatula</i> pro Untersuchungsmonat	25
6.1.3	Risikogruppen der Rasterfelder mit Feuchtstellen mit und ohne <i>G. truncatula</i>	25
6.1.4	Anzahl <i>G. truncatula</i> -Funde pro Risikogruppe	26
6.2	Risikogruppen der Schneckenfunde aus SCHWEIZER et al. (2007) und vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune	27
6.2.1	<i>G. truncatula</i> -Funde von SCHWEIZER et al. (2007)	27
6.2.2	<i>G. truncatula</i> -Funde vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune	27
6.3	Risikogruppen der Daten aus allen drei Quellen	27
6.3.1	<i>G. truncatula</i> -Funde	27
6.3.2	Fundorte und potentiellen Habitate von <i>G. truncatula</i>	28
6.3.3	Rasterfelder ohne Feuchtstellen und Rasterfelder mit Feuchtstellen (mit und ohne <i>G. truncatula</i>)	29
6.4	Risikogruppen der Daten der Monate Juli bis Oktober aus allen drei Quellen	31
6.4.1	Validierung der interaktiven Karte	31
6.5	Risikogruppen der Daten der Monaten Juli bis Oktober aus allen drei Quellen, Daten der Monate September und Oktober mit dem Augustprogramm ausgewertet	32
6.5.1	Validierung der interaktiven Karte	33

6.6 Risikogruppen der Daten vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune, alle Fundmonate mit dem Augustprogramm ausgewertet	34
6.6.1 Validierung der interaktiven Karte	35
6.7 Übersicht berechnete Kennzahlen	35
6.7.1 Sensitivitäten, Spezifitäten und prädiktive Werte	35
6.7.2 Sensitivitäten	36
7. DISKUSSION	38
7.1 Übereinstimmung der interaktiven Karte mit den Daten aus der Felduntersuchung 2010	38
7.1.1 Sensitivität, Spezifität und prädiktive Werte	38
7.1.2 Anzahl <i>G. trunctatula</i> pro Untersuchungsmonat	40
7.1.3 Anzahl <i>G. trunctatula</i> pro Risikogruppe	41
7.2 Übereinstimmung der interaktiven Karte mit den Daten aus allen drei Quellen	41
7.3 Übereinstimmung der interaktiven Karte mit den Daten aus den Monaten Juli bis Oktober aus allen drei Quellen	42
7.4 Übereinstimmung der interaktiven Karte mit den Daten vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune	43
7.4.1 <i>G. trunctatula</i> -Funde pro Untersuchungsmonat	43
7.4.2 Anzahl <i>G. trunctatula</i> -Funde pro Risikogruppe	44
7.5 Fazit	44
7.6 Verbesserungsmöglichkeiten der Risikokarte	45
8. LITERATURVERZEICHNIS	48
9. ANHANG	52

1. ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel dieser Dissertation war es, die interaktive Karte, die 2008 von RAPSCH et al. für die Schweiz entwickelt wurde, zu validieren. Dazu wurden im Juli bis Oktober 2010 Felduntersuchungen durchgeführt. Es wurden 80 zufällig ausgewählte Koordinaten bestimmt, die als Ausgangspunkt zur Untersuchung von 361 Rasterfeldern mit der Grösse von 100 mal 100 Meter (entsprechend der interaktiven Karte) herangezogen wurden. Alle untersuchten Felder wurden auf das Vorhandensein von Feuchtstellen überprüft. Insgesamt konnten dadurch 271 Rasterfelder ohne und 90 Rasterfelder mit Feuchtstellen festgehalten werden. Wurden Feuchtstellen gefunden, wurden diese 30 Minuten lang nach dem Zwischenwirt *Galba truncatula* abgesucht. In 14 der 90 Rasterfelder mit Feuchtstellen konnten Zwergschlammschnecken gefunden werden. Diese wurden gesammelt, überprüft und gezählt.

Des Weiteren wurden 54 *G. truncatula*-Funde aus der Prävalenzstudie von SCHWEIZER et al. (2007) und 446 *G. truncatula*-Funde von der Datenbank des Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF) in die Studie mit einbezogen. Um die interaktive Karte zu testen, wurde sie mit verschiedenen Datenkombinationen aus den oben genannten Quellen verglichen. In der Regel wurde die Risikogruppe 0 als Risiko negativ und somit Karte negativ und die Risikogruppen 1 bis 5 als Risiko positiv und somit Karte positiv definiert.

Die höchste Sensitivität wurde erreicht, wenn die Modellkarte mit den Rasterfeldern ohne und mit Feuchtstellen aus der Felduntersuchung 2010 verglichen wurde. Die Sensitivität lag bei 88.9 %. Die Spezifität dagegen betrug 18.8 %, der positiv prädiktive Wert war 26.7 % und der negativ prädiktive Wert 83.6 %. Wurde jedoch die Risikogruppe 1 zusammen mit der Risikogruppe 0 als Karte negativ definiert, sank die Sensitivität auf 57.8 %. Wenn die Karte mit den Daten aus allen drei Quellen verglichen wurde, konnte kein deutlicher Anstieg der Kennzahlen festgestellt werden. Auch wenn die interaktive Karte nur mit den *G.*

truncatula-Funden vom CSCF verglichen wurde, konnte trotz Auswertung der Daten mit dem Risikobestimmungsprogramm vom Monat August, nur eine Sensitivität von knapp 51 % erzielt werden.

Der Vergleich der Daten aus der Felduntersuchung 2010 und der *G. truncatula*-Fundorte aus SCHWEIZER et al. (2007) und vom CSCF mit den Risikogruppen der interaktiven Karte zeigte, dass die Karte die realen Bedingungen im Feld nur ungenügend widerspiegelt.

2. SUMMARY

The aim of this study was to validate the interactive map concerning the potential spread of *G. truncatula* and the free-living stages of *F. hepatica* in Switzerland constructed by RAPSCH et al. (2008). Therefore, field investigations were done between July and October 2010. At the beginning of the field investigations, 80 starting points (coordinates) were given. With these starting points, a total of 361 cells of 100 x 100 meters could be examined. All these cells were checked on wetland areas. On the whole, 271 did not contain wetland areas at all, the rest had at least one of them. If there was a wetland area, it was searched for 30 minutes for *G. truncatula*. At the end, in 14 of the 90 cells with wetland areas were found some snails. All snails got checked and sampled.

Furthermore 54 *G. truncatula*-findings from SCHWEIZER et al. (2007) and 446 *G. truncatula*-findings from the database of the Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF) were included in this study.

To validate the interactive map it was compared with various data combinations of the three sources. In general, the risk group 0 was defined as risk negative (map negative) and the risk groups 1 to 5 as risk positive (map positive).

The highest sensitivity was achieved when the map was validated with the cells with and without wetland areas. Then, the sensitivity was 88.9 %. However, the specificity was 18.8 % and the positive predictive value was 26.7 %, and the negative predictive value 83.6 %. But if the risk group 1 was defined as risk negative together with the risk group 0, the sensitivity decreased to 57.8 %. If the map was checked with the data from the field survey from 2010, the *G. truncatula*-findings from SCHWEIZER et al. (2007) and from the CSCF, there was no significant increase. Although the map was compared only with the *G. truncatula*-findings from the CSCF database, and all the findings were analysed with the monthly risk program from August, only a sensitivity of nearly 51 % was achieved.

The comparison of the data from the field investigation in 2010 and the *G. truncatula*-findings from SCHWEIZER et al. (2007) and from the CSCF database with the risk groups showed, that the map is not really reflecting the accurate conditions in the field.

3. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Die bovine Fasciolose, verursacht durch den grossen Leberegel *Fasciola hepatica*, ist eine in der Schweiz weit verbreitete Parasitose. So konnte 2006 eine Seroprävalenz (ELISA) bei Schlachttieren von 21.4 % gefunden werden. Bei bekannten Fasciolose-Problembetrieben lag sie sogar bei 36.3 % (RAPSCH, 2005). Die Verluste, welche durch die Fasciolose in der Schweiz entstehen, sind enorm. SCHWEIZER et al. (2005a) schätzten die medianen Verluste in der Schweiz pro Jahr auf 88'414'388 Franken (95 %-Konfidenzintervall 14'313'081 – 251'344'655 Franken). Dies macht pro infiziertes Tier jährlich 587 Franken aus.

Das Problembewusstsein der Landwirte gegenüber dieser wirtschaftlich bedeutsamen Parasitose ist jedoch gering (SCHWEIZER et al., 2005b). Bekämpfungsmassnahmen werden aber nur dort ergriffen, wo der Befall auch bekannt ist. Um Tierärzten und Landwirten bei der Bekämpfung der Fasciolose eine Hilfestellung zu geben, wurde auf Basis von geographischen und meteorologischen sowie biologischen Daten des Zwischenwirtes und der freilebenden Parasitenstadien eine interaktive Karte erstellt, auf der potentielle Risikogebiete der Fasciolaübertragung in der Schweiz bildlich dargestellt sind (RAPSCH et al., 2008).

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die interaktive Modellkarte zu überprüfen. Zu diesem Zweck wurden 2010 von Juli bis Oktober in Teilen der Schweiz Felduntersuchungen durchgeführt. Des Weiteren wurden *G. truncatula*-Fundorte aus der Prävalenzstudie von SCHWEIZER et al. (2007) und aus der Datenbank vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF) in die Studie mit einbezogen. Durch das Vergleichen der interaktiven Karte mit den Daten aus den drei Quellen wurde die Karte überprüft.

4. LITERATURÜBERSICHT

4.1 Vorkommen der Fasciolose

Der grosse Leberegel *F. hepatica* kommt bei Wiederkäuern, Pferden, Schweinen und auch Menschen weltweit vor. *F. hepatica* benötigt für die vollständige Entwicklung einen Zwischenwirt, die Zwergschlammschnecke *Galba truncatula*. Die Zwergschlammschnecke wiederum ist für das Überleben und die Fortpflanzung an Feuchtigkeit und ein gemässigttes Klima gebunden (THOMAS, 1883).

4.2 Entwicklungszyklus von *Fasciola hepatica*

Für die Beschreibung des Entwicklungszyklus wird auf die Dissertation von Christina Rapsch verwiesen (RAPSCH, 2005).

4.3 Der Zwischenwirt *Galba truncatula* (Zwergschlammschnecke)

Die Zwergschlammschnecke, auch kleine Sumpfschnecke oder Leberegelschnecke genannt, ist die kleinste Art in der Familie der Lymnaeidae (Schlammschnecken), die der Unterordnung Basommatophora (Wasserlungenschnecken) angehört. Diese gehören zur Ordnung der Pulmonata (Lungenschnecken).

Das Gehäuse der Zwergschlammschnecke erreicht in der Regel eine Grösse von bis zu 13 mm und besteht aus fünf bis sechs Umgängen. Diese sind durch eine tiefe Naht getrennt und dadurch stufig abgesetzt. Die Gehäuseöffnung ist ungedeckelt und nimmt weniger als die Hälfte der Gehäusehöhe ein. Der Mundsaum ist an der Spindel breit zurückgeschlagen, jedoch ist der Nabel offen und tief. Ein weiteres charakteristisches Merkmal sind die dreieckigen Fühler, welche auch Ohren genannt werden (MEHL, 1932; FRÖMMING, 1956).

Die Vermehrung erfolgt durch Kopulation oder Selbstbefruchtung. Die Laichablage findet im Wasser statt. Im Laboratorium kann diese das ganze Jahr über verfolgt werden, wenn die Temperaturen nicht unter 10°C fallen (FRÖMMING, 1956). In der Schweiz werden im April und Mai von den überwinterten Zwergschlammschnecken die ersten und auch grössten Laichballen abgesetzt. Weitere

kleinere Ablagen findet man dann wieder im Juni (MEHL, 1932). Die Jungtiere aus den ersten Gelegen, die temperaturabhängig nach 15 bis 28 Tagen schlüpfen, vermehren sich schon im August oder September weiter. Ihre Laichballen sind aber kleiner als die der Elternschnecken (PATZER, 1927; MEHL, 1932).

Das Lebensalter beträgt je nach Standort 16 bis 24 Monate. Die meisten Tiere sterben im Herbst des 2. Jahres (MEHL, 1932).

Nach MEHL (1932) ernähren sich die Schnecken von verrotteten Pflanzen, verschiedenen Algen, Gräserpollen und Schlamm. Frische Pflanzenteile und tierische Stoffe werden nur in der Not gefressen. Geringe Sonneneinstrahlung hat einen negativen Effekt auf das Wachstum der Algen (PETZOLD, 1989). Dies erklärt, warum man die Zwergschlammschnecken kaum in dicht bewachsenen Gewässern wie zum Beispiel in Bächen in Wäldern findet.

Der Entwicklungszyklus der Zwergschlammschnecke ist abhängig von der Temperatur. Der optimale Temperaturbereich für die Fortpflanzung und das Überleben der Zwergschlammschnecke reicht von 10 bis 25°C (KENDALL und McCULLOUGH, 1951; ARMOUR, 1975). Steigen die Temperaturen auf über 25°C an, wirkt dies ausgesprochen schädlich auf die Schnecken (KENDALL, 1949).

Um den Winter und somit Temperaturen im Minusbereich zu überstehen, ziehen sich die Zwergschlammschnecken in den nicht gefrierenden Schlamm zurück. Nur wenn sie ungeschützt daliegen oder im flachen Wasser über festem Sandboden einfrieren, sind die Schnecken durch Frost gefährdet (MEHL, 1932).

Wie der Name schon sagt, ist die Zwergschlammschnecke gebunden an Feuchtigkeit. Sie kann aber, in Abhängigkeit von Luftwärme, relativer Luftfeuchtigkeit, Bodenart, Beschattung, Pflanzenbestand, Verteilung der Niederschläge, Luftbewegung und wie die Schalenmündung im Einzelfall gegen Luftwechsel geschützt ist, 4,5 bis 10 Monate ohne tropfend flüssiges Wasser auskommen (MEHL, 1932; KENDALL, 1949).

Bei Austrocknung klebt sich die Zwergschlammschnecke auf dem Untergrund fest und bei raschem Schwinden des Wassers bleibt sie sogar ungeschützt liegen. Es kommt zu keiner Schleimpfropfbildung zum Schutz gegen das Austrocknen und auch ein aktives Eingraben findet nicht statt. Sie nutzt aber die Gelegenheit, sich bei lockerem Boden zwischen feuchter Erde zu verstecken (MEHL, 1932).

4.3.1 Lebensraum

G. truncatula bevorzugt kleine, seichte Gewässer, wie zum Beispiel Gräben und langsam fliessende Bäche. Oft sind diese nur wenige Zentimeter, selten auch über 40 Zentimeter tief. Den grössten Einfluss auf die Besiedelung eines fließenden Gewässers hat die Flussgeschwindigkeit. Liegt diese bei über 40 bis 50 cm/Sekunde und ist der Boden zusätzlich noch steinig oder sandig und die Wassertiefe grösser als 50 Zentimeter, kann man die Zwergschlammschnecke, wenn überhaupt dann nur, in kleiner Zahl am Rande finden. Bezüglich Bodenart werden Ton- und Lehmböden bevorzugt. Der pH-Bereich wiederum kann stark variieren (MEHL, 1932).

Mit Vorliebe sitzt die Zwergschlammschnecke nahe der Ufer, wo sie an Gräsern oder ähnlichem sitzt. Aber auch wo keine höheren Pflanzen vorkommen, kann man sie finden und nicht selten auch oberhalb des Wasserspiegels (FRÖMMING, 1956).

MEHL teilte im Jahr 1932 die Fundorte von *G. truncatula* in drei Gruppen ein:

- Als Primärhabitate gelten Fundorte, wo die Schnecken weder bei Hitze noch bei Frost sterben. Als Beispiel sind hier flache, tonige Bachabschnitte mit einer ständigen Tiefe von fünf bis 30 Zentimetern. Meist findet man die Tiere in diesen Primärhabitaten in einer grossen Anzahl vor.
- Habitate, wo das Wasser bei längerer Trockenzeit versiegt, wie zum Beispiel Strassengräben, gelten als Sekundärhabitate.
- Als dritte Gruppe, die Tertiärhabitate, dienen ausgedehnte, meist moosige Wiesenflächen, vor allem an Bächen, die bei lang anhaltendem Regenwetter

versumpfen. Ausgeschwemmte Zwergschlammschnecken können in solchen Habitaten monatelang überleben.

4.3.2 Ortswechsel und Wanderschaft

Nach MEHL (1932) finden aktive Wanderungen der Zwergschlammschnecken nur über kurze Distanzen von selten mehr als einem Meter statt. Er bezeichnet sie deshalb als unwesentlich. Laut persönlichen Angaben von KNUBBEN-SCHWEIZER (nicht publiziert) sollte dies jedoch nicht als gesichert angenommen werden.

Passiv können die Tiere weite Strecken zurücklegen. Bei starken Regenfällen oder gar Überschwemmungen können die Zwergschlammschnecken mit dem Wasser weit getragen werden.

Selten werden die Zwergschlammschnecken oder ihre Eier durch Vögel oder andere Träger verschleppt (SCHNIEDER, 2000).

4.4 Epidemiologie

Für die Beschreibung der Epidemiologie wird auf die Dissertation von Christina Rapsch verwiesen (RAPSCH, 2005).

4.5 Prophylaxemassnahmen

Für die Beschreibung der Prophylaxemassnahmen wird auf die Dissertation von Christina Rapsch verwiesen (RAPSCH, 2005).

4.6 Geographische Informationssysteme

„Geographische Informationssysteme, Geoinformationssysteme (GIS) oder Räumliche Informationssysteme (RIS) sind Informationssysteme zur Erfassung, Bearbeitung, Organisation, Analyse und Präsentation geografischer Daten. Geographische Informationssysteme umfassen die dazu benötigte Hardware, Software, Daten und Anwendungen“ (WIKIPEDIA.ORG). GIS finden ihre Anwendung heute in vielen Nutzungsgebieten, wie zum Beispiel in der Umweltforschung, der Städteplanung, der Kriminologie und der Medizin.

Die Verwendung in der Medizin dient (WIKIPEDIA.ORG)

- der Identifizierung möglicher Gesundheitsprobleme.
- dem Nachweis signifikanter räumlicher Muster von Krankheitsfällen.
- der geographisch-ökologischen Analyse, bei der Gesundheitsdaten und Risikofaktoren der physikalischen, chemischen, biologischen oder sozialen Umwelt räumlich miteinander verknüpft werden.

Als historisches Beispiel dient bis heute die Arbeitskarte des Arztes John Snow (1813 – 1858), der 1854 in London die örtliche Wasserversorgung und die Sterbefälle an Cholera kartierte und so die Ursache der Epidemie in der Stadt belegte. John Snow konnte anhand der Karte die Epidemie auf die Kontamination einer öffentlichen Wasserpumpe zurückführen und diese, durch Schliessen der Pumpe, zum Stillstand bringen.

Mit der raschen Entwicklung der Computerhardware in den 1960er Jahren, entstanden die ersten universellen Kartenerstellungsapplikationen, die bis heute immer weiter entwickelt wurden (WIECZOREK und DELMERICO, 2009).

Während der letzten 20 Jahre hat die Publikation von Forschungsarbeiten in der Human- und Tiermedizin in Bezug auf den Einsatz von GIS stark zugenommen (HENDRICKX et al., 2004). Gerade vektor- und zwischenwirtsgebundene Krankheiten lassen sich mittels GIS sehr gut modellieren (RINALDI et al., 2006).

4.7 Risikomodelle für die Fasciolose

Für das Vorkommen des Zwischenwirtes *G. truncatula*, das Vorhandensein der freilebenden Parasitenstadien und somit die potentielle Übertragung der Fasciolose, sind bestimmte Klima- und Umweltbedingungen notwendig. Temperatur, Feuchtigkeit, Bodenbeschaffenheit und die Sonneneinstrahlung beeinflussen das Vorkommen der Fasciolose (THOMAS, 1883; KENDALL und McCULLOUGH, 1951; OLLERENSHAW, 1959; ROSS, 1970 a; ARMOUR, 1975; CHRISTENSEN et al., 1976, 1978; PETZOLD, 1989). Diese Gegebenheiten ermöglichen das Erstellen von räumlichen Risikomodellen.

Seit der Entwicklung der computergestützten Geographischen Informationssystem-Technologie können Modelle von Fasciolose-Risikogebieten besser und schneller erstellt werden. Dies ist nicht nur viel einfacher, sondern auch deutlich günstiger als das Sammeln von Prävalenzdaten. Zudem lassen sich Vorhersagen treffen. Die Modelle dienen dem routinemässigen Gesundheitsmanagement, inklusive Kontrolle und Prävention (TORGERSON und CLAXTON, 1999).

Ein erstes, auf dem Klima beruhendes Vorhersagemodell für die Fasciolose entstand in den 60er Jahren für Europa (OLLERENSHAW, 1966). Später wurde es für den Süden der USA angepasst und weiterentwickelt. MALONE et al. entwickelten für den Staat Louisiana ein System, um das Fascioloserisiko mit Hilfe des Klimas vorherzusagen. Dazu verwendeten sie unter anderem das Thornthwaite water budget, eine Klimaklassifikationsmethode, welche das Bodenwasser mit Hilfe der Evapotranspiration aufzeigt, sowie eine Herdenprävalenzdatenbank (MALONE et al., 1987).

Weitere Modelle für Louisiana folgten. Auf Basis von Bodendaten und hydrologischen Daten wurde 1992 von MALONE et al. für 25 Red River Basin-Farmen in Louisiana eine Risikokarte entwickelt. Kotproben, die gesammelt wurden, dienten als Prävalenzdaten und wurden mit dem Modell verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass die Eiausscheidungsrate im Kot mit dem Vorkommen von hygri-schen Lehm-böden anstieg.

Ein Review zu den verschiedenen Risikobewertungsmethoden für den Süden der USA wurde 1992 veröffentlicht (MALONE und ZUKOWSKI, 1992).

Das 1998 für Äthiopien entwickelte Modell wurde für die strategische Kontrolle von *F. hepatica* und *F. gigantica* eingesetzt. Basierend auf Klima- und Umweltdaten wurden monatliche Prognose-Risikomodelle für die vier Klimaregionen des Landes entworfen. Mit vorhandenen Prävalenzdaten aus der Literatur wurden diese Modelle validiert. Die Resultate zeigen eine wesentliche Übereinstimmung der Literaturberichte und der Verteilung der Fasciolose in Äthiopien.

Für jede der vier Klimaregionen lieferten die Autoren anschliessend Behandlungspläne (YILMA und MALONE, 1998).

Zeitgleich wurden regionale *F. hepatica* und *F. gigantica* Prognosekarten für Ostafrika erstellt. Dabei wurde das 1987 für Louisiana erstellte Modell gemeinsam mit digitalen Agro-ökologischen Daten in einem Geografischen Informationssystem verwendet. Monatliche Niederschläge, potentielle Evapotranspiration, Temperatur, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), Vegetationsperiode sowie die Höhe und der Bewässerungsstatus wurden in das Modell mit einbezogen. Die Prognosekarten wurden anschliessend mit Umweltdaten und Prävalenzdaten aus der Literatur verglichen (MALONE und GOMMES, 1998).

TUM et al. veröffentlichten 2004 ein Geographisches Informationssystem-Modell für Kambodscha. Für dessen Entwicklung wurden folgende Determinanten einbezogen: Überschwemmungen, die Nähe zu Flüssen, Bodennutzung, Bodenneigung, Höhenlagen sowie die Dichte der Kuh- und Büffelpopulation. Die Temperatur und Niederschläge wurden im Modell nicht beachtet. Die Temperaturen in Kambodscha verändern sich kaum und liegen in einem günstigen Bereich für die Zwergschlammschnecken. Die Niederschläge spielen, im Gegensatz zu der Schneeschmelze, die hauptsächlich zur jährlichen Anflutung der Flüsse führt, kaum eine Rolle. Anschliessend wurde versucht das Modell gezielt zu validieren. Dazu wurden Kotproben von Kühen und Büffeln aus verschiedenen Provinzen gesammelt und auf Fascioloseeier untersucht. Die so erhaltenen Prävalenzdaten aus den untersuchten Provinzen, wurden anschliessend mit der Modellkarte verglichen. Obwohl einige Diskrepanzen zwischen dem Modell und der regionalen Prävalenz bestanden, ist das Modell ein gutes Hilfsmittel um Gebiete mit hohem Risiko zu identifizieren und entsprechende Kontrollmassnahmen für die Fasciolose einzuleiten (TUM et al., 2007).

Für den Staat Victoria in Australien wurden 2005 vier Modell-Klassen evaluiert. Dabei wurden früher gesammelte Daten von Schlachttieruntersuchungen verwendet um Areale mit hohen Prävalenzen zu identifizieren und diese mit Um-

welt-Kovariablen zu erklären. Die geprüften Umwelt- und Klimafaktoren waren: Niederschlagsmenge, totale jährliche Temperatur angepasst an die Niederschläge, NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) und die Bewässerung. Es zeigte sich, dass die Bewässerung den Haupteinfluss auf die Verbreitung der Fasciolose hatte (DURR et al., 2005).

In Südbrasilien wurden ebenfalls anhand von Leberuntersuchungen an Schlachtieren Rückschlüsse auf das Vorhandensein von *F. hepatica* gezogen. DUTRA et al. erstellten erst eine Prävalenzkarte der verschiedenen Gemeinden und verglichen anschliessend das Modell mit den in den jeweiligen Gemeinden vorherrschenden Temperaturen und den Höhenlagen der Gemeinden. So bestimmten sie das Risiko in den jeweiligen Gebieten und zogen Rückschlüsse auf das lokale Fascioloserisiko (DUTRA et al., 2010).

Auch für England und Wales wurden räumliche Risikomodelle für die Fasciolose entwickelt. Klimaparameter (Temperatur, Niederschläge), Bodenparameter (Bodentypen, Boden-pH und Bodenelemente), Umweltparameter (Höhe, Steigung und bewirtschaftetes Grasland) und Viehbestand- und Weidelandparameter flossen in die Modelle ein. Als Datenset wurden die Jahre 2001 bis 2006 verwendet. Insgesamt wurden so sechs Modelle entwickelt. Um die Modelle miteinander zu vergleichen wurden Prävalenzdaten hinzugezogen. Dazu wurden die Resultate von Tankmilchuntersuchungen auf *F. hepatica* aus einer früheren Studie verwendet (McCANN et al., 2010).

Für Flandern in Belgien wurden 2010 drei Modelle entwickelt. Das Modell 1 enthielt Klima- und Umweltfaktoren, das Modell 2 Managementfaktoren (Herdengrösse, Weiden der Kühe, Dauer der Grassaison, Grasfütterung in %) und das Modell 3 kombinierte die Klima-, Umwelt- und Managementfaktoren miteinander. Die Prävalenz innerhalb der Herden wurde mittels Tankmilchuntersuchung bestimmt. Gemeinsam mit den bestimmenden Faktoren wurde der Infektionsgrad in ein Geographisches Informationssystem integriert. Die Modelle wurden validiert. Durch den direkten Vergleich der verschiedenen Modelle

konnten die Autoren zeigen, dass die Managementfaktoren in gemässigten Klimazonen, wo das Klima und die Umwelt wenig variieren, die räumliche Verteilung der Fasciolose bestimmen (BENNEMA et al., 2010).

4.8 Validationen der Modelle

Die meisten Modelle zogen Prävalenzdaten als Basis für die Validierung hinzu. Dabei wurden zum Beispiel die Resultate von Tankmilchuntersuchungen, Leberuntersuchungen oder Kotuntersuchungen verwendet.

4.9 Bedeutung der bovinen Fasciolose in der Schweiz

In der Schweiz herrschen in vielen Regionen gute Bedingungen für das Vorkommen der Fasciolose. Verschiedene Studien über die Untersuchung der Prävalenz beim Rind in der Schweiz zeigten, dass diese zwischen 8.4 und 21.4 % liegt (ECKERT et al., 1975; DUCOMMUNG und PFISTER, 1991; RAPSCH, 2005; SCHWEIZER et al., 2005a).

Die wirtschaftlichen Verluste, die durch die weite Verbreitung entstehen, sind hoch. Pro infiziertem Tier rechnet man mit einem jährlichen Verlust von CHF 587 (SCHWEIZER et al., 2005a). Die Verluste durch schlechte Fleischproduktion und Leberkonfiskate machen dabei nur einen geringen Anteil aus. Der Hauptteil entsteht indirekt durch die reduzierte Milchleistung und die schlechtere Fruchtbarkeit. Verluste also, die den Landwirten meist nicht bewusst sind.

4.10 Interaktive Karte von RAPSCH et al. (2008)

RAPSCH et al. entwickelten 2008 eine interaktive Risikokarte für die Schweiz. Dafür wurden die Umweltbedingungen, die für das Überleben und die Fortpflanzung der Zwergschlammschnecken und der freilebenden Parasitenstadien nötig sind, modelliert. Die Karte zeigt somit die potentielle Verbreitung des Zwischenwirtes *G. truncatula* und die der freilebenden Parasitenstadien (Eier, Miracidien und Metacercarien) von *F. hepatica*.

Für das erstellen der Karte wurden folgende Risikofaktoren verwendet:

- Temperatur
- Niederschläge
- Bodenbeschaffenheit inklusive Grundwasser
- Forstbestand

Die Schweiz wurde in 100 mal 100 Meter Felder eingeteilt (Raster). Anschliessend wurde für jedes Feld und jeden Monat im Jahr das Risiko anhand der Risikofaktoren berechnet. Insgesamt wurden sechs Risikoklassen bestimmt. Kein Risiko, sehr tiefes Risiko, tiefes Risiko, mittleres Risiko, hohes Risiko und sehr hohes Risiko. In der interaktiven Karte wurden diese mittels Farbskala erkenntlich gemacht. Zur einfacheren Anwendung wurden zusätzlich die Kantons Grenzen, Hauptstädte, grosse Wasserläufe wie Seen und Flüsse, das Relief und die Wälder in der Karte ersichtlich gemacht.

Für die genaue Beschreibung wird auf RAPSCH et al. (2008) verwiesen.

5. MATERIAL UND METHODIK

5.1 Felduntersuchung 2010

Vom 25. Juli bis zum 6. Oktober 2010 wurden in ausgewählten Teilen der Schweiz Felduntersuchungen durchgeführt.

5.1.1 Auswahl der Felder

Die Auswahl der Untersuchungsfelder für die Feldstudie erfolgte zufällig, indem Koordinaten aus allen Risikogruppen aus der interaktiven Karte ausgewählt wurden. Die Auswahl beschränkte sich auf Koordinaten in den Kantonen Luzern, Schwyz, Zug, Zürich, Schaffhausen, Sankt Gallen und Thurgau. Die Auswahl wurde von einer Person vorgenommen, die an den Felduntersuchungen nicht beteiligt war. Die ausgewählten Koordinaten wurden von einer zweiten Person im Feld mit Hilfe des GPS-Navigator Garmin eTrex H aufgesucht und dienten als Ausgangspunkt des zu untersuchenden Feldes. Um Verfälschungen zu vermeiden, waren die Risikogruppen, welche die interaktive Karte für die Startkoordinaten voraussagt, während den Untersuchungen im Feld nicht bekannt. Das heisst, die Person, welche die Felduntersuchungen durchführte, war an der Auswahl der Startkoordinaten nicht beteiligt.

5.1.2 Anzahl und Beschreibung der Felder

Insgesamt wurden 80 Felder untersucht. Alle Felder lagen unterhalb von 1800 Meter über Meer.

Die Grösse der Felder wurde der natürlichen Umgebung angepasst. Vorhandene Grenzen wie Wald- und Felldränder oder Strassen wurden in der Regel als Begrenzung verwendet. Es wurde darauf geachtet, dass die untersuchten Felder mindestens eine Grösse von 100 mal 100 Metern hatten. Die Grenzen der untersuchten Felder entsprachen aber nicht den Rasterlinien der interaktiven Karte.

5.1.3 Begehung der Felder

Nach einem ersten Überblick wurden die Koordinaten der Grenzen des zu untersuchenden Feldes mittels GPS-Gerät ermittelt. Gleichzeitig wurde für jedes Feld eine Skizze erstellt und Fotos gemacht. Das Feld wurde anschliessend auf Feuchtstellen abgesucht. Konnten Feuchtstellen gefunden werden, wurden diese in der Skizze festgehalten und die Koordinaten bestimmt. Jede Feuchtstelle wurde 30 Minuten auf das Vorhandensein von *G. truncatula* überprüft. Die gefundenen Schnecken wurden grob identifiziert und anschliessend gesammelt.

Weiter wurde die Umgebung des untersuchten Feldes auf Feuchtstellen überprüft. Konnten Feuchtstellen ausserhalb des untersuchten Feldes entdeckt werden, wurden diese vermerkt, jedoch nicht auf das Vorkommen von *G. truncatula* untersucht.

5.1.4 Aufbereitung und Untersuchung der gesammelten Schnecken

Die gesammelten Schnecken wurden tiefgefroren und nach Abschluss der Felduntersuchungen mit Hilfe einer Stereolupe identifiziert. Nach der Identifizierung wurden die Schnecken gezählt.

5.2 *G. truncatula*-Funde aus anderen Quellen

5.2.1 Daten von SCHWEIZER et al. (2007)

Aus einer Studie, welche die Prävalenz von *F. hepatica* im Zwischenwirt ermittelte, wurden die natürlichen Fundorte von *G. truncatula* übernommen. Unnatürliche Fundorte, wie Brunnen, wurden nicht in die Auswertung mit einbezogen. In der 2007 publizierte Studie, wurden in den Jahren 1999 bis 2002, in den Monaten Mai bis Oktober in 70 Betrieben der Schweiz Feuchtstellen auf den Weideflächen auf *G. truncatula* abgesucht. Total konnten 54 *G. truncatula*-Fundorte aus dieser Studie verwendet werden, alle Fundorte lagen unterhalb von 1800 Meter über Meer (Tab. 1).

5.2.2 Daten vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune

Insgesamt wurden vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF) aus den Jahren 1990 bis 2010 749 *G. truncatula*-Funde zur Verfügung gestellt. Dabei handelte es sich um Schneckenfunde aus den Monaten Januar bis Dezember. Davon konnten 66 Fundorte infolge fehlender Angaben nicht in die Auswertung mit einbezogen werden. Zusätzlich lagen insgesamt 236 der 683 Fundorte in oder sehr nahe bei einem Wald oder einem Siedlungsgebiet. Diese Fundorte wurden nicht ausgewertet, da die interaktive Karte von RAPSCH et al. (2008) mit der Auflösung von 100 mal 100 Meter, diese Fundorte der Risikogruppe 0 zuordnen würde. Zudem wurden Fundorte, welche auf einer Höhe von über 1800 Meter über Meer lagen, ebenfalls nicht ausgewertet. Obwohl auch in dieser Höhenlage Zwergschlammschnecken vorkommen, sinkt das Fascioloserisiko mit steigender Höhe, da die Temperaturen abnehmen.

Weiter wurden Fundorte, welche im gleichen Monat mehrmals abgesucht wurden, nur einmal gezählt. Total konnten 428 Fundorte ausgewertet werden (Tab. 1).

Tab. 1: Anzahl Rasterfelder mit *G. truncatula*-Funden aus SCHWEIZER et al. (2007) und vom CSCF

Monat	SCHWEIZER et al. (2007)	CSCF
Januar		3
Februar		13
März		22
April		52
Mai	2	38
Juni	1	52
Juli	3	47
August	16	71
September	15	49
Oktober	17	48
November		22
Dezember		11
Total	54	428

5.3 Übersicht der verwendeten Daten

Tabelle 2 zeigt alle drei verwendeten Quellen, mit deren Daten die interaktive Karte validiert wurde.

Tab. 2: Herkunft der Daten zur Validation der interaktiven Karte von RAPSCH et al. (2008)

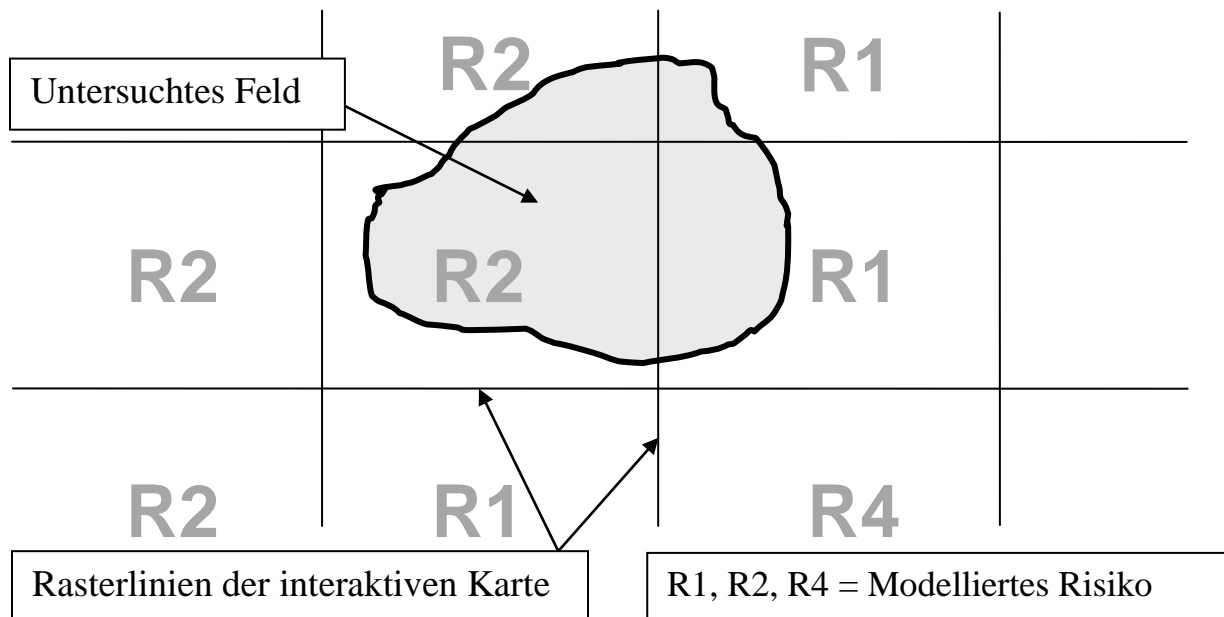
Quelle	Inhalt	Aussage
Felduntersuchung 2010	Untersuchung zufällig ausgewählter Felder in verschiedenen Teilen der Schweiz	1. Felder ohne Feuchtstellen (kein Fasciolose-risiko) 2. Felder mit Feuchtstellen (potentielles Fascioloserisiko) 2.1. Ohne <i>G. truncatula</i> 2.2. Mit <i>G. truncatula</i>
SCHWEIZER et al. (2007)	Nachweis von <i>G. truncatula</i>	Potentielles Fascioloserisiko
Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF)	Nachweis von <i>G. truncatula</i>	Potentielles Fascioloserisiko

5.4 Auswertung der Daten

Alle im Jahr 2010 im Feld festgehaltenen Koordinaten und die Koordinaten der Zwergschlammschneckenfundorte aus SCHWEIZER et al. (2007) und vom CSCF wurden auf 100 Meter gerundet. Dies entspricht den Rasterfeldern der Risikokarte von 100 mal 100 Metern. Koordinaten, die im selben Rasterfeld lagen, wurden nur einmal verwendet (Abb. 1). Anschliessend wurden die so erhaltenen Rasterfelder automatisiert mit den Risikogruppen der interaktiven Karte von RAPSCH et al. (2008) verglichen. Dazu wurden grundsätzlich die Auswertungsprogramme der jeweiligen Monate, in welchen die Untersuchungen festgehalten wurden, verwendet. Zum Teil wurden anschliessend zusätzlich die Daten ausgewählter Monate auch mit dem Auswertungsprogramm vom Monat August ausgewertet, da die Modellkarte für diesen Monat das höchste Risiko im Jahr vorgibt. Für jedes Rasterfeld konnte so die Risikogruppe, welche die Karte von RAPSCH et al. (2008) für den gewählten Monat vorgibt, bestimmt werden. Aus der Felduntersuchung 2010 konnten so Rasterfelder ohne Feuchtstellen, Rasterfelder mit Feuchtstellen ohne *G. truncatula*-Funde und Rasterfelder mit Feucht-

stellen mit *G. truncatula*-Funde und aus SCHWEIZER et al. (2007) und vom CSCF Rasterfelder mit Feuchtstellen mit *G. truncatula*-Funde mit der interaktiven Karte verglichen werden.

Abb. 1: Beispiel für ein untersuchtes Feld in vier Rasterfeldern mit zwei unterschiedlichen Risikogruppen (R1 und R2)



5.5 Auswertungsmethoden und Statistik

Die statistischen Auswertungen und Berechnungen erfolgten mit Microsoft Excel 2007 und einem Spezialprogramm, welches Dr. Tobias Dahinden von der Leibnitz Universität für dieses Projekt programmiert hat. Das Programm hatte zum Zweck, jedem x-beliebigen Punkt in der Schweiz die Risikogruppe, welche die von RAPSCH et al. (2008) entwickelte Modellkarte vorgibt, zuzuordnen.

Als Goldstandard wurden die Resultate aus der Felduntersuchung 2010 sowie die Fundorte von *G. truncatula* aus der Prävalenzstudie von SCHWEIZER et al. (2007) und vom CSCF verwendet. Für die Validation wurden die Risikogruppen eingeteilt in „kein Risiko“ (Risikogruppe 0) und „Risiko vorhanden“ (Risikogruppe 1 bis 5). Also „negativ“ und somit risikofrei wurden die in der Felduntersuchung 2010 festgehaltenen Rasterfelder ohne Feuchtstellen definiert. Als „po-

sitiv“ galten Rasterfelder in denen Feuchtstellen gefunden wurden sowie die Zwergschlammschneckenfundorte aus der Felduntersuchung 2010, SCHWEIZER et al. (2007) und vom CSCF. Die Sensitivität, Spezifität und die prädiktiven Werte wurden folgendermassen definiert:

- Sensitivität
= Richtig positive / (Richtig positive + Falsch negative)
- Spezifität
= Richtig negative / (Richtig negative + Falsch positive)
- Positiver prädiktiver Wert
= Richtig positive / (Richtig positive + Falsch positive)
- Negativer prädiktiver Wert
= Richtig negative / (Richtig negative + Falsch negative)

5.6 Zusammenarbeit mit anderen Institutionen

Am Zustandekommen der vorliegenden Arbeit waren die folgenden Institute und Abteilungen beteiligt:

- Institut für Kartographie und Geoinformatik, Leibnitz Universität Hannover, Dr. Tobias Dahinden
- Institut für Kartografie, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), Dr. Hans-Rudolf Bär
- Institut für Parasitologie, Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich, Prof. Dr. Peter Deplazes und Dr. Sasa Stefanic
- Abteilung für Epidemiologie, Universität Zürich, Prof. Paul R. Torgerson
- Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF), Neuchâtel, Dr. Simon Capt

6. ERGEBNISSE

6.1 Daten der Felduntersuchung 2010

6.1.1 Untersuchte Felder

Total wurden im Jahr 2010 80 Felder besucht. Insgesamt 12 der 80 Felder lagen in einem stark besiedelten Gebiet, das heisst in einem Dorf oder einer Stadt. Ein Feld lag mitten im Wald, die restlichen 67 Felder auf landwirtschaftlichen Nutzungsgebieten wie Wiesen, Weiden und Ackerbauflächen.

Von den total 80 Feldern wurden 19 im Juli (23.8 %), 19 im August (23.8 %), 28 im September (35.0 %) und 14 im Oktober (17.5 %) untersucht.

Insgesamt 39 (48.8 %) der 80 untersuchten Felder enthielten eine oder mehrere Feuchtstellen. In den restlichen 41 Feldern (51.3 %) konnten keine Feuchtstellen gefunden werden.

Da beim Absuchen der Felder die Raster der interaktiven Karte nicht beachtet werden konnten, lagen alle untersuchten Felder in mehreren Rasterfeldern. In 54 der 80 untersuchten Felder lagen diese Rasterfelder in der gleichen Risikogruppe. Bei den restlichen 26 Feldern wurden zwei bis drei verschiedene Risikogruppen festgestellt (Abb. 1).

Insgesamt konnten durch das Untersuchen der 80 Flächen 361 Rasterfelder festgehalten werden. Davon enthielten 271 Rasterfelder keine Feuchtstellen. Die restlichen 90 Rasterfelder enthielten Feuchtstellen und somit potentielle Habitate für *G. truncatula*.

6.1.1.1 Risikogruppen der Rasterfelder ohne Feuchtstellen

Mit 84 (31.0 %) von 271 Rasterfeldern ohne Feuchtstellen lagen die meisten in der Risikogruppe 5. An zweiter Stelle lag die Risikogruppe 0 mit 51 Rasterfeldern (18.8 %), gefolgt von der Risikogruppe 4 mit 38 Rasterfeldern (14.0 %), der Risikogruppe 1 mit 34 Rasterfeldern (12.6 %) und der Risikogruppe 2 mit 33

Rasterfeldern (12.2 %). Die geringste Anzahl Rasterfelder ohne Feuchtstellen enthielt die Risikogruppe 3 mit 31 Rasterfeldern (11.4 %) (Anhang 1).

6.1.1.2 Risikogruppen der Rasterfelder mit Feuchtstellen

Mit 28 von 90 untersuchten Rasterfeldern mit Feuchtstellen lagen die meisten in der Risikogruppe 1 (31.1 %). Dicht darauf folgte die Risikogruppe 5 mit 24 Rasterfeldern (26.7 %). An dritter Stelle lag die Risikogruppe 2 mit 12 Rasterfeldern (13.3 %), gefolgt von der Risikogruppe 3 mit 11 (12.2 %) und der Risikogruppe 0 mit 10 Rasterfeldern (11.1 %). Am wenigsten Rasterfelder mit Feuchtstellen enthielt die Risikogruppe 4 mit 5 Rasterfeldern (5.6 %) (Anhang 2).

6.1.1.3 Validierung der interaktiven Karte

Um die interaktive Modellkarte zu testen, wurde sie in einem ersten Schritt mit den untersuchten Rasterfeldern (ohne und mit Feuchtstellen) aus der Felduntersuchung 2010 (Goldstandard) verglichen. Dazu wurde die Tabelle 3 erstellt. Sie dient der Berechnung der Sensitivität und Spezifität, sowie der prädiktiven Werte wenn die Risikogruppen 1 bis 5 als Risikogebiete (Karte positiv) definiert werden. Das heisst, alle Rasterfelder mit Feuchtstellen werden als korrekt positiv von der Karte erkannt gewertet, wenn sie in den Risikogruppen 1 bis 5 liegen. Rasterfelder ohne Feuchtstellen sollten demzufolge nur in der Risikogruppe 0 liegen (Karte negativ). Die Sensitivität der interaktiven Modellkarte bei diesem Vergleich liegt bei 88.9 %, die Spezifität liegt bei 18.8 %. Der positiv prädiktive Wert beträgt 26.7 %, der negativ prädiktive Wert 83.6 %.

Werden nur die Risikogruppen 2 bis 5 als Risikogebiete angesehen und somit nur Rasterfelder mit Feuchtstellen als richtig positiv gewertet wenn sie in der Risikogruppe 2 bis 5 liegen, so verringert sich die Sensitivität auf 57.8 %. Dafür erhöht sich die Spezifität auf 31.4 %. Der positiv prädiktive Wert beträgt bei diesem Vergleich 21.8 %, der negativ prädiktive Wert 69.1 %.

Tab. 3: Tabelle für die Bestimmung der Sensitivität, Spezifität und der prädiktiven Werte

		Felduntersuchung 2010	
		Rasterfelder mit Feuchtstellen	Rasterfelder ohne Feuchtstellen
Interaktive Karte	Karte positiv (Risikogruppen 1-5)	80	220
	Karte negativ (Risikogruppe 0)	10	51

6.1.2 Anzahl *G. truncatula* pro Untersuchungsmonat

Total wurden 314 Schnecken in natürlichen Habitaten gesammelt. Davon konnten insgesamt 133 Schnecken eindeutig als *G. truncatula* identifiziert werden. Sechs Schnecken waren infolge Beschädigung oder der zu geringen Grösse nicht eindeutig bestimmbar. Die restlichen 175 Schnecken konnten einer anderen Art zugeordnet werden.

Von den 133 *G. truncatula* wurden 32 (24.1 %) im Juli, 10 (7.5 %) im August und 91 (68.4 %) im September gesammelt. Im Oktober konnten keine Schnecken gefunden werden.

6.1.3 Risikogruppen der Rasterfelder mit Feuchtstellen mit und ohne *G. truncatula*

Die Zwergschlammschnecken wurden in 14 verschiedenen Habitaten gefunden. Diese Habitate lagen in 14 Rasterfeldern. Insgesamt konnten demzufolge, in 14 der 90 Rasterfelder mit Feuchtstellen *G. truncatula* gefunden werden. Die restlichen 76 Rasterfelder enthielten Feuchtstellen, in denen keine *G. truncatula* gefunden werden konnten. Tabelle 4 zeigt die Anzahl Rasterfelder mit Feuchtstellen mit und ohne *G. truncatula* pro Risikogruppe.

Tab. 4: Übersicht Anzahl Rasterfelder pro Risikogruppe

		Felduntersuchung 2010	
		Rasterfelder mit Feuchtsstellen ohne <i>G. truncatula</i>	Rasterfelder mit Feuchtsstellen mit <i>G. truncatula</i>
Interaktive Karte	Risikogruppe 0	10 (13.2 %)	0 (0 %)
	Risikogruppe 1	24 (31.6 %)	4 (28.6 %)
	Risikogruppe 2	11 (14.5 %)	1 (7.1 %)
	Risikogruppe 3	9 (11.8 %)	2 (14.3 %)
	Risikogruppe 4	2 (2.6 %)	3 (21.4 %)
	Risikogruppe 5	20 (26.3 %)	4 (28.6 %)
	Total	76 (100 %)	14 (100 %)

6.1.3.1 Vergleich mit der interaktiven Karte

Nach dem Vergleich mit allen untersuchten Rasterfeldern wurde die interaktive Modellkarte getestet, indem sie mit den Rasterfeldern mit *G. truncatula*-Fundorten aus der Felduntersuchung 2010 (Goldstandard) verglichen wurde.

Alle Rasterfelder mit *G. truncatula*-Fundorten liegen in den Risikogruppen 1 bis 5. Werden die Risikogruppen 1 bis 5 als Risikogebiete bestimmt, so ergibt sich eine Sensitivität von 100 %. Wird aber die Risikogruppe 1 gemeinsam mit der Risikogruppe 0 als risikofreies Gebiet festgelegt, so sinkt die Sensitivität auf 71.4 %.

6.1.4 Anzahl *G. truncatula*-Funde pro Risikogruppe

Von den 133 als *G. truncatula* identifizierten Schnecken, wurden mit 89 die meisten in einem Habitat in der Risikogruppe 1 gefunden (66.9 %). An zweiter Stelle lag die Risikogruppe 4 mit 28 Zwergschlammschnecken (21.1 %), gefolgt von der Risikogruppe 5 mit 10 (7.5 %), der Risikogruppe 3 mit vier (3.0 %) und der Risikogruppe 2 mit zwei Zwergschlammschnecken (1.5 %). Die in der Risikogruppe 0 vorhandenen Habitate enthielten keine *G. truncatula*.

6.2 Risikogruppen der Schneckenfunde aus SCHWEIZER et al. (2007) und vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune

6.2.1 *G. truncatula*-Funde von SCHWEIZER et al. (2007)

Von den total 54 *G. truncatula*-Fundorten lagen 27 und somit 50 % in der Risikogruppe 0. Mit 11 Fundorten lag die zweithäufigste Anzahl in der Risikogruppe 1, gefolgt von der Risikogruppe 4 mit 7 Fundorten. Mit je 3 Fundorten bildeten die Risikogruppen 2, 3 und 5 den Abschluss (Tab. 5). Anhang 3 zeigt detailliert die Anzahl Fundorte pro Risikogruppe für jeden Fundmonat.

6.2.2 *G. truncatula*-Funde vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune

Insgesamt 428 *G. truncatula*-Fundorte aus der Datenbank vom CSCF konnten für diese Studie verwendet werden. Mit 71 Fundorten wurden die meisten in den Augustmonaten festgehalten. Überblickend wurde der grösste Teil der Zwergschlammschneckenfunde in den wärmeren Monaten festgehalten (Tab. 2).

Mit 302 von 428 *G. truncatula*-Fundorten und somit über 70 %, lagen die meisten in der Risikogruppe 0 (Tab. 5). Anhang 4 zeigt detailliert die Anzahl Fundorte pro Risikogruppe für jeden Fundmonat.

6.3 Risikogruppen der Daten aus allen drei Quellen

6.3.1 *G. truncatula*-Funde

Um einen abschliessenden Vergleich zu ziehen, wurden die *G. truncatula*-Fundorte aus der Felduntersuchung 2010, von SCHWEIZER et al. (2007) und vom CSCF zusammen gezählt. Die insgesamt 496 Fundorte lagen in 496 Rasterfeldern. Total konnten demzufolge 496 Rasterfelder mit *G. truncatula*-Funden ausgewertet werden.

Von den 496 Rasterfeldern mit Fundorten lagen 329 und somit über 66 % in der Risikogruppe 0. In der Risikogruppe 1 lagen 61 Rasterfelder mit Fundorten (12.3 %), in der Risikogruppe 5 34 (6.9 %), in der Risikogruppe 3 29 (5.9 %) und in der Risikogruppe 2 24 Rasterfelder mit Fundorten (4.8 %). Mit 19 Raster-

feldern mit Fundorten lagen am wenigsten in der Risikogruppe 4 (3.8 %) (Tab. 5).

Tab. 5: Übersicht Anzahl Rasterfelder mit *G. truncatula*-Funden pro Risikogruppe

		<i>G. truncatula</i> -Fundorte		
		Felduntersuchung 2010	SCHWEIZER et al. (2007)	CSCF
Interaktive Karte	Risikogruppe 0	0	27	302
	Risikogruppe 1	4	11	46
	Risikogruppe 2	1	3	20
	Risikogruppe 3	2	3	24
	Risikogruppe 4	3	7	9
	Risikogruppe 5	4	3	27
	Total	14	54	428

6.3.2 Fundorte und potentiellen Habitate von *G. truncatula*

Da es sich bei den Feuchtstellen ohne *G. truncatula*-Funde aus der Felduntersuchung 2010, trotz negativ verlaufender Suche nach Zwergschlammschnecken, um potentielle Habitate handeln könnte, wurden diese gemeinsam mit den echten Fundorten ausgewertet. Es wurden die Rasterfelder mit Feuchtstellen ohne *G. truncatula*-Vorkommen, sowie die Rasterfelder mit Feuchtstellen mit Fundorten von *G. truncatula* aus der Felduntersuchung 2010 gemeinsam mit den Fundorten von *G. truncatula* aus SCHWEIZER et al. (2007) und deren vom CSCF zusammen gezählt. Total konnten so 572 Rasterfelder mit Feuchtstellen (mit und ohne *G. truncatula*) ausgewertet werden.

Mit 339 der total 572 Rasterfelder mit Feuchtstellen (mit und ohne *G. truncatula*) lagen die meisten in der Risikogruppe 0 (59.3 %). An zweiter Stelle lag die Risikogruppe 1 mit 85 Rasterfeldern (14.9 %) gefolgt von der Risikogruppe 5 mit 54 (9.4 %), der Risikogruppe 3 mit 38 (6.6 %) und der Risikogruppe 2 mit 35 Rasterfeldern (6.1 %). Mit 21 lagen am wenigsten Rasterfelder mit Feuchtstellen in der Risikogruppe 4 (3.7 %).

Tab. 6: Übersicht Anzahl Rasterfelder pro Risikogruppe

		Feuchtstellen (mit und ohne <i>G. truncatula</i>)		
		Felduntersuchung 2010	SCHWEIZER et al. (2007)	CSCF
Interaktive Karte	Risikogruppe 0	10	27	302
	Risikogruppe 1	28	11	46
	Risikogruppe 2	12	3	20
	Risikogruppe 3	11	3	24
	Risikogruppe 4	5	7	9
	Risikogruppe 5	24	3	27
	Total	90	54	428

6.3.3 Rasterfelder ohne Feuchtstellen und Rasterfelder mit Feuchtstellen (mit und ohne *G. truncatula*)

In einem weiteren Schritt wurden die Anzahl Rasterfelder ohne Feuchtstellen pro Risikogruppe aus der Felduntersuchung 2010 mit der Anzahl Rasterfelder mit Feuchtstellen (mit und ohne *G. truncatula*-Fundorte) pro Risikogruppe aus allen drei Quellen herangezogen. Insgesamt konnten so 271 Rasterfelder ohne Feuchtstellen und 572 Rasterfelder mit Feuchtstellen (mit und ohne *G. truncatula*-Fundorte) mit den Risikogruppen der interaktiven Karte verglichen werden (Tab. 7).

Tab. 7: Übersicht Anzahl Rasterfelder pro Risikogruppe

		Daten alle drei Quellen	
		Rasterfelder ohne Feuchtstellen	Rasterfelder mit Feuchtstellen (mit und ohne <i>G. truncatula</i>)
Interaktive Karte	Risikogruppe 0	51	339
	Risikogruppe 1	34	85
	Risikogruppe 2	33	35
	Risikogruppe 3	31	38
	Risikogruppe 4	38	21
	Risikogruppe 5	84	54
	Total	271	572

6.3.3.1 Validierung der interaktiven Karte

Um die interaktive Karte mit den Daten aus allen drei Quellen (Felduntersuchung 2010, SCHWEIZER et al. (2007), CSCF/Goldstandard) zu testen, wurde die Tabelle 8 erstellt. Als risikofreie Gebiete, das heisst Karte negativ, wurde die Risikogruppe 0 definiert und als Gebiete mit Risiko, die Risikogruppen 1 bis 5 (Karte positiv).

Die Sensitivität der interaktiven Modellkarte beträgt 40.7 %, Die Spezifität liegt unverändert bei 18.8 %, da nur Daten von risikofreien Rasterfeldern (Rasterfelder ohne Feuchtstellen) aus der Felduntersuchung 2010 vorhanden waren. Der positiv prädiktive Wert beträgt 51.4 %, der negativ prädiktive Wert 13.1 %.

Tab. 8: Tabelle für die Bestimmung der Sensitivität, Spezifität und der prädiktiven Werte

		Daten alle drei Quellen	
		Rasterfelder mit Feuchtstellen	Rasterfelder ohne Feuchtstellen
Interaktive Karte	Karte positiv (Risikogruppen 1-5)	233	220
	Karte negativ (Risikogruppe 0)	339	51

6.4 Risikogruppen der Daten der Monate Juli bis Oktober aus allen drei Quellen

Um einen besseren Vergleich zu erzielen, wurden weiter aus allen drei Quellen nur die Daten aus den Monaten Juli, August, September und Oktober verwendet. In den gleichen Monaten fanden 2010 auch die Felduntersuchungen statt. Insgesamt wurden aus allen drei Quellen in den Monaten Juli bis Oktober 356 Rasterfelder mit Feuchtstellen (mit und ohne *G. truncatula*) festgehalten. Die Anzahl Rasterfelder ohne Feuchtstellen blieb mit 271 gleich, da nur Rasterfelder ohne Feuchtstellen aus der Felduntersuchung 2010 vorhanden waren. Tabelle 9 zeigt die Anzahl Rasterfelder aus den Monaten Juli bis Oktober pro Risikogruppe.

Tab. 9: Übersicht Anzahl Rasterfelder pro Risikogruppe

		Daten alle drei Quellen (Juli – Oktober)	
		Rasterfelder ohne Feuchtstellen	Rasterfelder mit Feuchtstellen (mit und ohne <i>G. truncatula</i>)
Interaktive Karte	Risikogruppe 0	51	165
	Risikogruppe 1	34	76
	Risikogruppe 2	33	26
	Risikogruppe 3	31	27
	Risikogruppe 4	38	18
	Risikogruppe 5	84	44
	Total	271	356

6.4.1 Validierung der interaktiven Karte

Wird die interaktive Karte nur mit den Daten aus den Monaten Juli bis Oktober aus allen drei Quellen (Felduntersuchung 2010, SCHWEIZER et al. (2007), CSCF/Goldstandard) getestet und dabei die Risikogruppe 0 als Karte negativ und die Risikogruppen 1 bis 5 als Karte positiv definiert, so liegt die Sensitivität bei 53.7 %. Die Spezifität liegt auch bei diesem Test bei 18.8 %, da nur von den Monaten Juli bis Oktober Rasterfelder ohne Feuchtstellen zum Vergleich zur

Verfügung stehen. Der positiv prädiktive Wert beträgt 46.5 % und der negativ prädiktive Wert 23.6 % (Tab. 10).

Tab. 10: Tabelle für die Bestimmung der Sensitivität, Spezifität und der prädiktiven Werte

		Daten alle drei Quellen (Juli – Oktober)	
		Rasterfelder mit Feuchtstellen	Rasterfelder ohne Feuchtstellen
Interaktive Karte	Karte positiv (Risikogruppen 1-5)	191	220
	Karte negativ (Risikogruppe 0)	165	51

6.5 Risikogruppen der Daten der Monaten Juli bis Oktober aus allen drei Quellen, Daten der Monate September und Oktober mit dem Augustprogramm ausgewertet

Als weiterer Schritt wurden erneut die Daten aus allen drei Quellen aus den Monaten Juli bis Oktober verwendet aber die Daten der Monate September und Oktober wurden mit dem Risikogruppenbestimmungsprogramm vom Monat August ausgewertet. Tabelle 11 zeigt, wie viele Rasterfelder in den jeweiligen Risikogruppen lagen.

Tab. 11: Übersicht Anzahl Rasterfelder pro Risikogruppe, Daten der Monate September und Oktober mit dem Augustprogramm ausgewertet

		Daten alle drei Quellen (Juli – Oktober) Sept. und Okt. mit Augustprogramm ausgewertet	
		Rasterfelder ohne Feuchtstellen	Rasterfelder mit Feuchtstellen (mit und ohne <i>G. truncatula</i>)
Interaktive Karte	Risikogruppe 0	31	124
	Risikogruppe 1	27	60
	Risikogruppe 2	1	7
	Risikogruppe 3	69	73
	Risikogruppe 4	40	41
	Risikogruppe 5	103	51
	Total	271	356

6.5.1 Validierung der interaktiven Karte

Tabelle 12 dient dem Testen der interaktiven Karte mit den Daten der Monate Juli bis Oktober aus allen drei Quellen (Felduntersuchung 2010, SCHWEIZER et al. (2007), CSCF/Goldstandard), wenn die Monate September und Oktober mit dem Risikobestimmungsprogramm vom Monat August ausgewertet wurden. Als Karte negativ wird die Risikogruppe 0 und als Karte positiv die Risikogruppen 1 bis 5 definiert.

Die Sensitivität der interaktiven Karte erhöht sich durch diesen Test auf 65.2 %. Die Spezifität sinkt auf 11.4 %. Der positiv prädiktive Wert beträgt 49.2 %, der negativ prädiktive Wert 20.0 %.

Tab. 12: Tabelle für die Bestimmung der Sensitivität, Spezifität und der prädiktiven Werte, Daten der Monate September und Oktober mit Augustprogramm ausgewertet

		Daten alle drei Quellen (Juli – Oktober) Sept. und Okt. mit Aug.programm ausgewertet	
		Rasterfelder mit Feuchtstellen	Rasterfelder ohne Feuchtstellen
Interaktive Karte	Karte positiv (Risikogruppen 1-5)	232	240
	Karte negativ (Risikogruppe 0)	124	31

6.6 Risikogruppen der Daten vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune, alle Fundmonate mit dem Augustprogramm ausgewertet

In einem letzten Schritt wurden nur die Daten vom CSCF in die Auswertung mit einbezogen. Dabei wurden die Risikogruppen der Fundorte mit dem Risikobestimmungsprogramm des Monats August berechnet (n = 428). Tabelle 13 zeigt die Anzahl *G. truncatula*-Fundorte pro Risikogruppe.

Tab. 13: Übersicht Anzahl *G. truncatula*-Fundorte pro Risikogruppe, alle Fundmonate mit dem Augustprogramm ausgewertet

		<i>G. truncatula</i>-Fundorte CSCF (ausgewertet mit Augustprogramm)	
		Anzahl Rasterfelder	Rasterfelder in %
Interaktive Karte	Risikogruppe 0	212	49.5
	Risikogruppe 1	63	14.7
	Risikogruppe 2	10	2.3
	Risikogruppe 3	70	16.4
	Risikogruppe 4	23	5.4
	Risikogruppe 5	50	11.7
	Total	428	100

6.6.1 Validierung der interaktiven Karte

In einem letzten Schritt, wurde die interaktive Modellkarte nur mit den *G. truncatula*-Fundorten vom CSCF getestet. Dabei wurden alle Fundmonate vom CSCF mit dem Risikobestimmungsprogramms des Monats August ausgewertet. Werden die Risikogruppen 1 bis 5 als Risikogebiete (Karte positiv) bestimmt, so ergibt sich eine Sensitivität von 50.5 %. Werden nur die Risikogruppen 2 bis 5 als Risikogebiete bestimmt, sinkt diese auf 35.7 %.

6.7 Übersicht berechnete Kennzahlen

6.7.1 Sensitivitäten, Spezifitäten und prädiktive Werte

In der Tabelle 14 werden einige der berechneten Kennzahlen einander gegenüber gestellt. Die Kennzahlen stammen aus der Validation der interaktiven Karte mit den:

- A. Daten aus der Felduntersuchung 2010:
 - Rasterfelder ohne Feuchtstellen
 - Rasterfelder mit Feuchtstellen (mit und ohne *G. truncatula*)
- B. Daten aus der Felduntersuchung 2010, von SCHWEIZER et al. (2007) und vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune
 - Rasterfelder ohne Feuchtstellen aus der Felduntersuchung 2010
 - Rasterfelder mit Feuchtstellen (mit und ohne *G. truncatula*-Funde)
- C. Daten aus den Monaten Juli bis Oktober aus der Felduntersuchung 2010, von SCHWEIZER et al. (2007) und vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune
 - Rasterfelder ohne Feuchtstellen aus der Felduntersuchung 2010
 - Rasterfelder mit Feuchtstellen (mit und ohne *G. truncatula*-Funde)
- D. Daten aus den Monaten Juli bis Oktober aus der Felduntersuchung 2010, von SCHWEIZER et al. (2007) und vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune, die Monate September und Oktober mit dem Augustprogramm ausgewertet

- Rasterfelder ohne Feuchtstellen aus der Felduntersuchung 2010
- Rasterfelder mit Feuchtstellen (mit und ohne *G. truncatula*-Funde)

Bei den Berechnungen wurde als Karte negativ und somit Risiko negativ die Risikogruppe 0 und als Karte positiv und somit Risiko positiv die Risikogruppen 1 bis 5 bestimmt.

Tab. 14: Übersicht der Kennzahlen (%)

	A.	B.	C.	D.
Sensitivität %	88.9	40.7	53.7	65.2
Spezifität %	18.8	18.8	18.8	11.4
Positiv prädiktiver Wert %	26.7	51.4	46.5	49.2
Negativ prädiktiver Wert %	83.6	13.1	23.6	20.0

6.7.2 Sensitivitäten

In der Tabelle 15 werden die Sensitivitäten einander gegenüber gestellt, die sich berechnen lassen, wenn die interaktive Karte mit den *G. truncatula*-Fundorten aus folgenden Quellen verglichen werden:

- Felduntersuchung 2010 (n = 14)
- SCHWEIZER et al. (2007) (n = 54)
- Centre Suisse de Cartographie de la Faune (n = 428)
- alle drei Quellen (n = 496)

Die Auswertung der Fundorte erfolgte bei der Berechnung dieser Sensitivitäten immer mit dem Monatsprogramm, in welchem die Fundorte festgehalten wurden. Bei den Berechnungen wurde als Karte negativ und somit Risiko negativ die Risikogruppe 0 und als Karte positiv und somit Risiko positiv die Risikogruppen 1 bis 5 bestimmt.

Tab. 15: Übersicht der berechneten Sensitivitäten (%)

	Sensitivitäten (%)
Felduntersuchung 2010	100
SCHWEIZER et al. (2007)	50
Centre Suisse de Cartographie de la Faune	29.4
Daten alle drei Quellen	33.7

7. DISKUSSION

Das Ziel dieser Untersuchung war es, anhand der Daten aus der Felduntersuchung, die 2010 stattfand und der Verwendung von Fundorten von *G. truncatula* aus der Prävalenzstudie von SCHWEIZER et al. (2007) und von der Datenbank des Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF) die von RAPSCH et al. 2008 entwickelte interaktive Karte zur Ermittlung der potentiellen Verbreitung von *G. truncatula* und der freilebenden Larvenstadien von *F. hepatica* in der Schweiz zu validieren.

Dabei muss beachtet werden, dass die Risikokarte die Verbreitung der Zwergschlammschnecken und der freilebenden Parasitenstadien voraussagen sollte. Die in dieser Studie durchgeführten Untersuchungen befassen sich aber nur mit dem Vorkommen der Zwergschlammschnecke und deren potentiellen Habitaten (Feuchtstellen) und nicht mit dem Vorkommen der freilebenden Larvenstadien. Da aber, bis auf die höheren Temperaturen, welche die freilebenden Parasitenstadien im Gegensatz zu *G. truncatula* bevorzugen, die interaktive Karte von RAPSCH et al. (2008) vor allem auf den Umweltfaktoren für das Vorkommen der Zwergschlammschnecke basiert, sollten diese Vergleiche möglich sein. Zudem wäre eine Validation anhand von Prävalenzdaten im Endwirt, wie sie in anderen Ländern vorgenommen wurde, schwierig umzusetzen, da in der Schweiz ein hoher Tierverkehr (Alpung) besteht.

7.1 Übereinstimmung der interaktiven Karte mit den Daten aus der Felduntersuchung 2010

7.1.1 Sensitivität, Spezifität und prädiktive Werte

In einem ersten Schritt wurde die interaktive Karte von RAPSCH et al. (2008) mit den Daten aus der Felduntersuchung 2010 getestet. Dazu wurde die Anzahl Rasterfelder ohne Feuchtstellen (n = 271) und die Anzahl Rasterfelder mit Feuchtstellen (n = 90) pro Risikogruppe verglichen. Es wurde nicht beachtet, ob

in den Feuchtstellen *G. truncatula* gefunden werden konnten oder nicht. Rasterfelder mit Feuchtstellen, aber ohne *G. truncatula*-Fundorte, wurden als potentielle Habitate gewertet und gemeinsam mit den echten Fundorten gezählt. Schliesslich ist trotz 30-minütiger, negativ verlaufender Suche nach Zwergschlammschnecken, nicht auszuschliessen, dass diese Feuchtstellen nicht doch als Habitate dienten.

In einem ersten Vergleich wurde die interaktive Karte als richtig positiv gewertet, wenn die Felder mit Feuchtstellen in den Risikogruppen 1 bis 5 lagen und als richtig negativ, wenn die Felder ohne Feuchtstellen in der Risikogruppe 0 lagen. Die Sensitivität, die damit erreicht wurde, lag bei 88.9 %. Verglichen mit den Daten aus der Felduntersuchung 2010, zeigt die interaktive Karte 89 % der Rasterfelder mit Feuchtstellen mit den Risikogruppen 1 bis 5 als richtig positiv an. Die Spezifität lag bei 18.8 %. Somit zeigt die Risikokarte nur knapp 19 % der untersuchten Rasterfelder ohne Feuchtstellen als tatsächlich risikofrei an (Risikogruppe 0). Der positiv prädiktive Wert beträgt 26.7 %. Sagt demzufolge die Modellkarte für ein Rasterfeld in der Schweiz die Risikogruppe 1, 2, 3, 4 oder 5 voraus, so liegt die Wahrscheinlichkeit, dass in diesem Rasterfeld eine Feuchtstelle zu finden ist, bei knapp 27 %. Im Gegensatz dazu, zeigt der negativ prädiktive Wert, wie gross die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein Rasterfeld in der Risikogruppe 0 auch wirklich keine Feuchtstelle enthält. Der negativ prädiktive Wert beträgt 83.6 %.

In einem zweiten Vergleich mit den Daten aus der Felduntersuchung 2010 wurde die Karte als richtig positiv gewertet, wenn die Felder mit Feuchtstellen in den Risikogruppen 2 bis 5 lagen. Die Risikogruppen 0 und 1 wurden als risikofreie Gebiete, das heisst Karte negativ definiert. Die Sensitivität fällt dadurch auf 57.8 %, dafür erhöht sich die Spezifität auf 31.4 %. Der positiv prädiktive Wert liegt mit 21.8 % und der negativ prädiktive Wert mit 69.1 % tiefer als im ersten Vergleich.

Werden nur die Rasterfelder mit echten Fundorten von *G. truncatula* ($n = 14$) aus der Felduntersuchung 2010 mit der Modellkarte verglichen und die Risikogruppen 1 bis 5 als Karte positiv definiert, so liegt die Sensitivität bei 100 %. Alle Feuchtstellen, die in der Felduntersuchung 2010 als Habitate definiert werden konnten, liegen somit in der interaktiven Karte in den Risikogruppen 1 bis 5. Wird aber auch hier die Risikogruppe 1 gemeinsam mit der Risikogruppe 0 als risikofreies Gebiet definiert (Karte negativ), sinkt die Sensitivität auf 71.4 %, da 4 der 14 Feuchtstellen mit *G. truncatula* in der Risikogruppe 1 liegen. Dafür kann innerhalb der Risikogruppen 2 bis 5 mit steigender Risikogruppe auch eine Zunahme der Anzahl Rasterfelder mit *G. truncatula*-Funden erkannt werden. Um diese Feststellung zu interpretieren, müssten aber deutlich mehr *G. truncatula*-Fundorte ausgewertet werden. In der Felduntersuchung 2010 konnten nur 14 Rasterfelder mit *G. truncatula* festgehalten werden.

7.1.2 Anzahl *G. truncatula* pro Untersuchungsmonat

Die Untersuchungen der Schneckendichte aus der Felduntersuchung 2010 zeigten, dass 32 der insgesamt 133 Zwergschlammschnecken im Juli, 10 im August und 91 im September gefunden werden konnten. Im Oktober konnten trotz vorhandenen Feuchtstellen keine *G. truncatula* entdeckt werden. Eigentlich müsste erwartet werden, dass sich die Schneckenanzahl gegen Herbst erhöht, da sich die Zwergschlammschnecken in den wärmeren Monaten vermehren (MEHL, 1932). In der Felduntersuchung 2010 wurden aber pro Monat nicht gleich viele Feuchtstellen abgesucht. Auch wurden alle vorhandenen Feuchtstellen in die Auswertungen mit eingenommen und auf Zwergschlammschnecken abgesucht, auch wenn sie nicht die Idealbedingungen für ein Habitat zeigten (MEHL, 1932). Hinzu kommt, dass Untersuchungen im Feld auch von der Witterung beeinflusst werden. An sehr regenreichen Tagen war es infolge der Sicht und auch wegen der erhöhten Flussgeschwindigkeit der Bäche, schwieriger die Schnecken zu finden.

7.1.3 Anzahl *G. truncatula* pro Risikogruppe

Wird die Anzahl Zwergschlammschnecken pro Risikogruppe betrachtet, so wird erwartet, dass mit steigender Risikogruppe auch die Menge der gefundenen Zwergschlammschnecken zunimmt. Die grösste Anzahl Zwergschlammschnecken enthielt aber die Risikogruppe 1. Insgesamt 89 der 133 als *G. truncatula* identifizierten Schnecken wurden in dieser Risikogruppe gefunden. Dazu muss aber angemerkt werden, dass 76 der 89 Zwergschlammschnecken aus einem untersuchten Feld (zwei Habitate in zwei Rasterfeldern) stammten. Bei den Habitaten handelte es sich um zwei kleine, sonnenexponierte Bachläufe, welche ideale Bedingungen für das Vorkommen der Zwergschlammschnecken zeigten. Lässt man die Risikogruppe 1 ausser Acht und beurteilt nur die Anzahl Zwergschlammschnecken der Risikogruppen 0, 2, 3, 4 und 5 so ist zumindest bis zur Risikogruppe 4 ein Anstieg fest zu stellen. Die Risikogruppe 0 enthält keine Feuchtstellen und somit auch keine Fundorte. Nur 2 der 133 Zwergschlammschnecken wurden in der Risikogruppe 2 und nur 4 in der Risikogruppe 3 gefunden. Die Risikogruppe 4 enthält mit 28 Zwergschlammschnecken jedoch deutlich mehr als die Risikogruppe 5 mit nur 10 Zwergschlammschnecken. Da aber die 133 Schnecken in nur 14 Habitaten gesammelt wurden, ist ein Vergleich schwierig. Es müssten deutlich mehr Habitate und somit Zwergschlammschnecken ausgewertet werden.

7.2 Übereinstimmung der interaktiven Karte mit den Daten aus allen drei Quellen

In einem zweiten Schritt wurden zusätzlich zu den Daten aus der Felduntersuchung 2010 die *G. truncatula*-Fundorte aus der Prävalenzstudie von SCHWEIZER et al. (2007) (n = 54) sowie die Fundorte vom CSCF (n = 428) mit der Risikokarte verglichen. Dadurch konnten deutlich mehr *G. truncatula*-Fundorte ausgewertet werden. Ebenfalls wurden jene Feuchtstellen aus der Felduntersuchung 2010, bei denen die Suche nach *G. truncatula* negativ verlief, als potentielle Fundorte von *G. truncatula* gewertet und gemeinsam mit den echten Fund-

orten aus der Felduntersuchung 2010, von SCHWEIZER et al. (2007) und vom CSCF gezählt. Als Karte positiv wurden die Risikogruppen 1 bis 5 bestimmt, als Karte negativ die Risikogruppe 0. Als Kontrolle der Risikogruppe 0 dienten die Rasterfelder ohne Feuchtstellen aus der Felduntersuchung 2010. Die Sensitivität lag mit 40.7 % deutlich tiefer, als wenn nur die Daten aus der Felduntersuchung 2010 verwendet wurden. Die Spezifität blieb mit 18.8 % gleich, da als Negativkontrolle nur die Felder ohne Feuchtstellen aus der Felduntersuchung 2010 zur Verfügung standen. Der positiv prädiktive Wert war mit 51.4 % deutlich höher dafür der negativ prädiktive Wert mit 13.1 % tiefer.

7.3 Übereinstimmung der interaktiven Karte mit den Daten aus den Monaten Juli bis Oktober aus allen drei Quellen

Im Vergleich zu den Zwergschlammschnecken sind die freilebenden Parasitenstadien von *F. hepatica* verstärkt an moderate Temperaturen gebunden. Vor allem für die Entwicklung und Übertragung von *F. hepatica* sind Temperaturen von über 10°C von Bedeutung (OLLERENSHAW, 1959). Die Risikokarte von RAPSCH et al. (2008) zeigt deshalb ab dem Monat September eine deutliche Risikoreduktion und vom November bis März für alle Rasterfelder ein Nullrisiko an, obwohl der Zwischenwirt vorhanden ist. Dies zeigt, dass das Validieren der Modellkarte mit dem Vorkommen des Zwischenwirtes in den kälteren Monaten des Jahres zu Problemen führt. Um das Problem mit den Schneckenfundorten in den kälteren Monaten im Jahr zu umgehen, wurden in einem dritten Schritt nur die Ergebnisse der Untersuchungen der Monate Juli bis Oktober aus allen drei Quellen verglichen. Die Monate Juli bis Oktober wurden gewählt, weil 2010 in diesen Monaten die Felduntersuchung 2010 stattfand. Wird dabei die Risikogruppe 0 als Karte negativ und die Risikogruppen 1 bis 5 als Karte positiv festgelegt, verbessert sich die Sensitivität auf 53.7 %. Die Spezifität blieb gleich, da als Negativkontrolle wieder nur die Rasterfelder ohne Feuchtstellen aus der Felduntersuchung 2010 verwendet werden konnten. Der positiv prädik-

tive Wert beträgt sinkt auf 46.5 % und der negativ prädiktive Wert verbessert sich auf 23.6 %.

Zudem wurden in einem vierten Schritt die Daten der Monate September und Oktober aus allen drei Quellen mit dem Risikobestimmungsprogramm vom Monat August ausgewertet. Dies wurde gemacht, weil die Modellkarte kein Transmissionsmodell beinhaltet und somit ab dem Monat September eine deutliche Risikoreduktion aufzeigt, obwohl von den Vormonaten noch viele Zwergschlammschnecken vorhanden sind. Durch diesen Schritt konnte nochmals eine Verbesserung der Sensitivität auf 65.2 % erreicht werden.

Wie bei der Verwendung der Daten aus allen Monaten, wurden auch hier die Feuchtstellen ohne *G. truncatula*-Fundorte aus den Felduntersuchung 2010 zu den Habitaten hinzugezählt.

7.4 Übereinstimmung der interaktiven Karte mit den Daten vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune

7.4.1 *G. truncatula*-Funde pro Untersuchungsmonat

Beim Vergleich der Anzahl *G. truncatula*-Fundorte vom CSCF (n = 428) pro Fundmonat, fällt auf, dass mit 71 die meisten Fundorte im August festgehalten wurden (16.6 %). Da aber unbekannt ist, wie häufig pro Monat nach Schnecken gesucht wurde und bei wie vielen Feuchtstellen die Suche negativ ausfiel, entfällt die Interpretation dieser Resultate.

Die Schneckenfundorte vom CSCF zeigen aber, dass in der Schweiz das ganze Jahr hindurch Zwergschlammschnecken gefunden werden können. Dies entspricht auch den Literaturangaben, nach denen die Zwergschlammschnecken Temperaturen im Minusbereich über mehrere Monate überstehen können (MEHL, 1932).

7.4.2 Anzahl *G. truncatula*-Funde pro Risikogruppe

Die meisten in dieser Arbeit verwendeten *G. truncatula*-Fundorte stammten aus der Datenbank vom CSCF (n = 428). Diese Fundorte wurden in den Jahren 1990 bis 2010 in den Monaten Januar bis Dezember festgehalten. Auch wenn alle Fundmonate mit dem Risikobestimmungsprogramm vom Monat August ausgewertet werden, liegen fast 50 % in der Risikogruppe 0. Zwar sind über die Fundorte aus der CSCF-Datenbank keine genauen Angaben bekannt, und es gibt auch keine Vorgaben für das Melden von Verbreitungsorten der Zwergschlammschnecken aber laut persönlicher Angabe eines Beobachters sind ihm keine Funde aus unnatürlichen Habitaten bekannt. Auch wenn davon ausgegangen wird, dass trotzdem einige Feuchtstellen eines unnatürlichen Ursprungs waren (z.B. nicht sichtbare, lecke Wasserleitung), so sollten diese die Ergebnisse nicht derart beeinflussen.

7.5 Fazit

Wird die interaktive Karte von RAPSCH et al. (2008) mit den Rasterfeldern ohne und mit Feuchtstellen aus der Felduntersuchung 2010 verglichen und werden als Risikogebiete die Risikogruppen 1 bis 5 bestimmt, so errechnet sich eine relativ hohe Sensitivität von knapp 89 %. Die Spezifität ist mit knapp 19 % sehr tief. Werden aber nur die Risikogruppen 2 bis 5 als Risikogebiete definiert, so fällt die Sensitivität auf knapp 58 %. Dafür erhöht sich die Spezifität. Werden auch die *G. truncatula*-Fundorte von SCHWEIZER et al. (2007) und vom CSCF zusätzlich zu den Daten aus der Felduntersuchung 2010, in die Validation mitbezogen, so kann, je nach Auswertung, eine maximale Sensitivität von 65.2 % erzielt werden. Auch wenn nur die *G. truncatula*-Fundorte aus allen drei Quellen (n = 496) mit den Risikogruppen, welche die interaktive Karte vorgibt, verglichen werden, beträgt die Sensitivität nur 66.3 %. Die besten Ergebnisse und auch eine Korrelation mit den Risikogruppen werden erzielt, wenn nur die *G. truncatula*-Fundorte aus der Felduntersuchung 2010 ausgewertet werden (Sensitivität 100 %). Aber auch hier liegen viele Fundorte in der Risikogruppe 1

und sobald diese in der Karte als negativ definiert wird (kein Risiko), sinkt die Sensitivität auf 71.4 %. Zudem sind insgesamt nur 14 Rasterfelder mit Fundorten von *G. truncatula* aus der Felduntersuchung 2010 vorhanden. Eine Aussage über die interaktive Karte nur anhand dieser Daten ist deshalb nicht möglich.

Es stellt sich vor allem die Frage, weshalb die von RAPSCH et al. (2008) entwickelte Risikokarte das Vorkommen der Feuchtstellen und der Habitate der Zwergschlammschnecken ungenügend widerspiegelt. Obwohl die Karte auch die Umweltbedingungen für die freilebenden Parasitenstadien darstellt, sollten die echten und potentiellen Schneckenfundorte besser korrelieren. Schliesslich ist die Zwergschlammschnecke gebunden an typische Umweltbedingungen und die wurden in der interaktiven Karte modelliert. Zudem spielt *G. truncatula* als Zwischenwirt die Hauptrolle bei der Übertragung von *F. hepatica*.

Zumindest bei den Berechnungen der Daten aus den Monaten Juli bis Oktober sollte eine höhere Sensitivität und Spezifität erreicht werden. Die Temperaturbedingungen für die freilebenden Parasitenstadien sind zu dieser Jahreszeit erfüllt.

Auch die Grösse des in der Risikokarte verwendeten Rasters, kann die geringe Sensitivität und Spezifität nicht erklären. Es wurden nur *G. truncatula*-Fundorte und Feuchtstellen in die Ergebnisse mit einbezogen, die mindestens 100 Meter von Waldrändern und Siedlungsgebieten (Risikogruppe 0) entfernt lagen. So konnte ausgeschlossen werden, dass die Fundorte und Feuchtstellen nur infolge des Rasters 100 mal 100 Meter in die Risikogruppe 0 fallen.

7.6 Verbesserungsmöglichkeiten der Risikokarte

SCHWEIZER et al. (2007) untersuchten 70 Landwirtschaftsbetriebe und fanden total 130 Habitate von *G. truncatula*. Mit total 36 waren die meisten Habitate Bachläufe. Die restlichen 94 Habitate wurden als 33 Hangwasseraustrittsstellen, 24 Drainagegräben, 21 Brunnen, 14 Riedflächen sowie einem Teich und einem Drainageschacht klassifiziert. Dies und auch die Felduntersuchungen 2010 mit 32 Bachläufen, 10 Hangwasseraustrittsstellen und zwei Riedflächen zeigen, dass

Bachläufe oft Habitate der Zwergschlammschnecken darstellen. Die Risikokarte enthält aber nur die Hauptflüsse der Schweiz. Kleinere Bachläufe sind nicht eingetragen. Das Einbringen der Bodenart (Wasserdurchlässigkeit) und des Grundwassers in die Modellkarte versucht zwar zumindest das Auftreten von kleinen Bachläufen zu simulieren, eine echte Aufnahme aller bekannten Bachläufe ist aber als erster Schritt zu empfehlen, da die Realität im Feld so deutlicher dargestellt werden kann.

Weiter zeigen die Untersuchungen von SCHWEIZER et al. (2007) sowie die Felduntersuchungen 2010, dass Hangwasseraustrittsstellen ebenfalls häufig als Habitate von Zwergschlammschnecken dienen. In der Risikokarte von RAPSCH et al. (2008), wurden neben der Temperatur, der Niederschläge sowie der Waldgebiete auch die Bodenbeschaffenheit und das Grundwasser als Risikofaktor mit einbezogen. Die Schweiz hat aber als Alpenland viele Hügel und Berge. Dies wiederum beeinflusst das Vorkommen von Hangwasseraustrittsstellen. In einem weiteren Schritt sollten deshalb die Elevationen in die Karte mit einbezogen werden. Hangwasseraustrittsstellen können so besser dargestellt werden.

Eine Erhöhung der Sensitivität und Spezifität könnte auch erreicht werden, indem permanente Feuchtgebiete wie zum Beispiel Riedflächen in die Karte aufgenommen werden würden. Diese stellen Hochrisikogebiete für die Fasciolose dar.

Weiter zeigen die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen eine Verbesserung der Sensitivität, wenn die Daten der Monate September und Oktober mit dem Auswertungsprogramm vom Monat August ausgewertet werden. Dies zeigt auf, dass ein Transmissionsmodell in die Karte mit eingebaut werden müsste. Bis anhin wurde für jeden Monat im Jahr anhand der Risikofaktoren des jeweiligen Monats das Risiko bestimmt. Es wurde nicht darauf geachtet, was in den vorangegangenen Monaten für Bedingungen geherrscht haben. Im September und Oktober aber sind noch viele Zwergschlammschnecken von den vorangegangenen Sommermonaten vorhanden, wo Idealbedingungen für deren Vor-

kommen geherrscht haben. Dies müsste in einer verbesserten Karte mit aufgenommen werden.

Zudem müsste versucht werden, den Raster von 100 mal 100 Metern zu verkleinern. Dadurch sollte die Karte eine detailliertere Auflösung erlauben. Mögliche Habitate, die an Wald- oder Siedlungsrändern liegen, werden somit nicht fälschlicherweise der Risikogruppe 0 zugeordnet. Eine andere Möglichkeit wäre, die Grenzen der Wald- und Siedlungsgebiete im Detail zu übernehmen.

Zum Schluss stellt sich die Frage, ob die Verwendung von sechs Risikogruppen nicht reduziert werden kann. Drei Risikogruppen (kein bis sehr tiefes Risiko, mittleres Risiko, hohes bis sehr hohes Risiko) sollten das Transmissionsrisiko genügend widerspiegeln.

8. LITERATURVERZEICHNIS

- ARMOUR, J. (1975): The epidemiology and control of bovine fasciolosis. Vet. Rec. 96, 198-201.
- BENNEMA, S. C., E. DUCHEYNE, J. VERCRUYSSSE, E. CLAEREBOU, G. HENDRICKX and J. CHARLIER (2010): Relative important of management, meteorological and environmental factors in the spatial distribution of *Fasciola hepatica* in dairy cattle in a temperate climate zone. Int. J. Parasitol. 41, 225-233.
- CHRISTENSEN, N. O., P. NANSEN and F. FLEMMING (1976): The influence of temperature on the infectivity of *Fasciola hepatica* miracidia to *Lymnaea truncatula*. J. Parasitol. 62, 698-701.
- CHRISTENSEN, N. O., P. NANSEN and F. FRANDSEN (1978): The influence of some physico-chemical factors on the host-finding capacity of *F. miracidia*. J. Helminthol. 52, 61-67.
- DUCOMMUN, D. and K. PFISTER (1991): Prevalence and distribution of *Dicrocoelium dendriticum* and *Fasciola hepatica* infections in cattle in Switzerland. Parasitol. Res. 77, 364-366.
- DURR, P. A., N. TAIT and A. B. LAWSON (2005): Bayesian hierarchical modeling to enhance the epidemiology value of abattoir surveys for bovine fasciolosis. Prev. Vet. Med. 71, 157-172.
- DUTRA, L. H., M. B. MOLENTO, C. R. C. NAUMANN, A. W. BIONDO, F. S. FORTES, D. SAVIO and J. B. MALONE (2010): Mapping risk of bovine fasciolosis in the south of Brazil using Geographic Information Systems. Vet. Parasitol. 169, 76-81.
- ECKERT, J., R. SAUERLÄNDER und K. WOLFF (1975): Häufigkeit und geographische Verbreitung von *Fasciola hepatica* in der Schweiz. Schweiz. Arch. Tierheilk. 117, 173-184.

- FRÖMMING, E. (1956): *L. (Galba) truncatula* Müller. In: Biologie der mitteleuropäischen Süßwasserschnecken. Hrsg. E. Frömming. Duncker & Humblot, Berlin, 120-129.
- HENDRICKX, G., J. BIESEMANS and R. DE DEKEN (2004): The use of GIS in veterinary parasitology. In: GIS and Spatial Analysis in Veterinary Science. Hrsg. P. Durr and A. Gatrell. CABI Publishing, 145-176.
- KENDALL, S. B. (1949): Bionomics of *Limnaea truncatula* and the parthenitae of *Fasciola hepatica* under drought conditions. J. Helminthol. 23, 57-68.
- KENDALL, S. B. and F. S. McCULLOUGH (1951): The emergence of cercariae of *Fasciola hepatica* from the snail *Limnaea truncatula*. J. Helminthol. 25, 77-92.
- MALONE, J. B., T. E. WILLIAMS, R. A. MULLER, J. P. GEAGHAN and A. F. LOYACANO (1987): Fascioliasis in cattle in Louisiana: Development of a system to predict disease risk by climate, using the Thornthwaite water budget. Am. J. Vet. Res. 48, 1167-1170.
- MALONE, J. B., D. P. FEHLER, A. F. LOYACANO and S. H. ZUKOWSKI (1992): Use of LANDSAT MSS imagery and soil type in a geographic information system to assess site-specific risk of fascioliasis on Red River Basin farms in Louisiana. Ann. N. Y. Acad. Sci. 653, 389-397.
- MALONE, J. B. and S. H. ZUKOWSKI (1992): Geographic models and control of cattle liver flukes in the Southern USA. Parasitol. Today. 8, 266-270.
- MALONE, J. B. and R. GOMMES (1998): A geographic information system on the potential distribution of *Fasciola hepatica* and *F. gigantica* in east Africa based on Food and Agriculture Organization database. Vet. Parasitol. 78, 87-101.
- McCANN, C. M., M. BAYLIS and D. J. L. WILLIAMS (2010). The development of linear regression models using environmental variables to explain the spatial distribution of *Fasciola hepatica* infection in dairy herds in England and Wales. Int. J. Parasitol. 40, 1021-1028.

- MEHL, S. (1932): Die Lebensbedingungen der Leberegelschnecke (*Galba truncatula* Müller). Untersuchungen über Schale, Verbreitung, Lebensgeschichte, natürliche Feinde und Bekämpfungsmöglichkeiten. Hrsg. S. Mehl. Verlag Dr. F. P. Datterer & Cie, München.
- OLLERENSHAW, C. B. (1959): The ecology of the liver fluke (*Fasciola hepatica*). Vet. Rec. 71, 957-965.
- OLLERENSHAW, C. B. (1966): The approach to forecasting the incidence of fascioliasis over England and Wales. Agric. Meteorol. 3, 35-53.
- PATZER, H. (1927): Beiträge zur Biologie der Leberegelschnecke *Galba* (= *Limnaea*) *truncatula* MÜLLER. Zool. Jahrb. Abt. Syst. 53, 321-372.
- PETZOLD, F. (1989): Zur Populationsdynamik von *Galba truncatula* (Müll.) und deren Infektion mit *Fasciola hepatica* (L.) in einem endemischen Voralpengebiet der Schweiz. Doctoral Thesis, University of Basel.
- RAPSCH, C. (2005): Diagnostische und epidemiologische Untersuchungen zur bovinen Fasciolose in der Schweiz. Doctoral Thesis, University of Zurich.
- RAPSCH, C., T. DAHINDEN, D. HEINZMANN, P. R. TORGERSON, U. BRAUN, P. DEPLAZES, L. HURNI, H. BÄR und G. KNUBBEN-SCHWEIZER (2008): An interactive map to assess the potential spread of *Lymnaea truncatula* and the free-living stages of *Fasciola hepatica* in Switzerland. Vet. Parasitol. 154, 242-249.
- RINALDI, L., V. MUSELLA, A. BIGGERI and G. CRINGOLI (2006): New insights into the application of geographical information systems and remote sensing in veterinary parasitology. Geospat. Health. 1, 33-47.
- ROSS, J. G. (1970 a): The epidemiology of fascioliasis in northern Ireland. Vet. Rec. 87, 370-372.
- SCHNIEDER, T. (2000): Fasciolose. In: Veterinärmedizinische Parasitologie. Hrsg. M. Rommel, J. Eckert, E. Kutzer, W. Körting und T. Schnieder. Parey Buchverlag, Berlin, 192-205.

- SCHWEIZER, G., U. BRAUN, P. DEPLAZES and P. TORGERSON (2005 a): Estimating the financial losses due the bovine fasciolosis in Switzerland. *Vet. Rec.* 157, 188-193.
- SCHWEIZER, G., M. HÄSSIG und U. BRAUN (2005 b): Das Problembewusstsein von Landwirten in Bezug auf die Fasciolose des Rindes. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 147, 253-257.
- SCHWEIZER, G., M. L. MELI, P. R. TORGERSON, H. LUTZ, P. DEPLAZES and U. BRAUN (2007): Prevalence of *Fasciola hepatica* in the intermediate host *Lymnaea truncatula* detected by real time TaqMan PCR in populations from 70 Swiss farms with cattle husbandry. *Vet. Parasitol.* 150, 164-169.
- THOMAS, A. P. (1883): The life history of the liver-fluke (*Fasciola hepatica*). *Quart. Journ. Microsc. Sci.* 23, 99-133.
- TORGERSON, P. R. and J. CLAXTON (1999): Epidemiology and control. In: *Fasciolosis*. Hrsg. J. P. Dalton. CABI, Oxon, pp, 113-149.
- TUM, S., M. L. PUOTINEN and D. B. COPEMAN (2004): A geographic information system model for mapping risk of fasciolosis in cattle and buffaloes in Cambodia. *Vet. Parasitol.* 122, 141-149.
- TUM, S., M. L. PUOTINEN, L. F. SKERRATT, B. CHAN and S. SOTHOEUN (2007): Validation of a geographic information system model for mapping the risk of fasciolosis in cattle and buffaloes in Cambodia. *Vet. Parasitol.* 143, 364-367.
- WIECZOREK, W. F. and A. M. DELMERICO (2009): Geographic Information Systems. *Comput. Stat.* 1, 167-186.
- YILMA, J. M. and MALONE J. B. (1998): A geographic information system forecast model for strategic control of fasciolosis in Ethiopia. *Vet. Parasitol.* 78, 103-127.

9. ANHANG

Anhang 1: Monatsdaten der Felduntersuchung 2010, Risikogruppen der Rasterfelder ohne Feuchtstellen

Risikogruppe	Juli	August	September	Oktober	Total
0	16	7	6	22	51 (18.82 %)
1	5	7	14	8	34 (12.55 %)
2	0	0	30	3	33 (12.18 %)
3	21	8	2	0	31 (11.44 %)
4	21	17	0	0	38 (14.02 %)
5	32	21	31	0	84 (31.0 %)
0 – 5	95	60	83	33	271 (100 %)

Anhang 2: Monatsdaten der Felduntersuchung 2010, Risikogruppen der Rasterfelder mit Feuchtstellen

Risikogruppe	Juli	August	September	Oktober	Total
0	0	0	3	7	10 (11.11 %)
1	0	6	22	0	28 (31.11 %)
2	0	0	12	0	12 (13.33 %)
3	8	3	0	0	11 (12.22 %)
4	5	0	0	0	5 (5.56 %)
5	0	3	21	0	24 (26.67 %)
0 – 5	13	12	58	7	90 (100 %)

Anhang 3: Monatsdaten der Jahre 1999 bis 2002 aus SCHWEIZER et al. (2007), Risikogruppen der *G. truncatula*-Fundorte

Risikogruppe	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	Total
0	2	1	1	4	3	16	27 (50.0 %)
1	0	0	1	2	7	1	11 (20.37 %)
2	0	0	0	0	3	0	3 (5.56 %)
3	0	0	0	3	0	0	3 (5.56 %)
4	0	0	1	5	1	0	7 (12.96 %)
5	0	0	0	2	1	0	3 (5.56 %)
0 – 5	2	1	3	16	15	17	54 (100 %)

Anhang 4: Monatsdaten aus den Jahren 1990 bis 2010 vom Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF), Risikogruppen der *G. truncatula*-Fundorte

Risikogruppe	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
0	3	13	22	52	14	34	25	39	31	36	22	11	302 (70.56 %)
1	0	0	0	0	3	6	7	15	6	9	0	0	46 (10.75 %)
2	0	0	0	0	7	2	0	3	5	3	0	0	20 (4.67 %)
3	0	0	0	0	4	7	7	6	0	0	0	0	24 (5.61 %)
4	0	0	0	0	1	2	3	3	0	0	0	0	9 (2.1 %)
5	0	0	0	0	9	1	5	5	7	0	0	0	27 (6.31 %)
0 – 5	3	13	22	52	38	52	47	71	49	48	22	11	428 (100 %)